

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Planeamento urbano e clima:  
Adaptação ao efeito de ilha de calor urbano em Lisboa**

Ricardo Jorge Grilo Guerreiro

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente**

Dissertação orientada por:  
Professor Doutor Miguel Centeno Brito  
Doutora Sara Freitas



## Resumo

Devido às alterações climáticas e ao estilo de vida nas cidades modernas, tem sido dada crescente atenção à diferença que ocorre entre a temperatura ambiente dos centros urbanos e a das zonas periurbanas e rurais circundantes – fenómeno conhecido por Ilha de Calor Urbano (ICU). O efeito ICU ocorre devido ao desequilíbrio entre as componentes do balanço radiativo no meio urbano, causado por fatores como: a absorção e de radiação solar pela envolvente construtiva; a baixa presença de massas de água e de elementos arbóreos que promovam o arrefecimento evaporativo; a predominância de pavimentos impermeáveis; a configuração de ruas demasiado estreitas que sequestram o calor ou demasiado expostas sem elementos de ensombramento; a libertação de gases de exaustão por veículos, indústria e ares condicionados; entre outros.

A presente dissertação tem como objetivos compreender os mecanismos que mais influenciam o efeito ICU no município de Lisboa e explorar medidas de minimização/adaptação ao mesmo, focando-se na modelação e avaliação, à microescala, de uma área consolidada (Alta de Lisboa, zona A) e de uma área expectante a intervencionar a médio-prazo (Entrecampos, zona B). Complementarmente, estimou-se o potencial de captura de CO<sub>2</sub> antropogénico pelas árvores existentes nas áreas analisadas, com base em dados de tráfego rodoviário em hora de ponta provenientes de simulações VISUM para Lisboa.

Este estudo partiu de uma revisão de literatura e levantamento de diversas medidas para a redução do efeito de ICU, de entre as quais foram selecionadas para modelação as mais custo-benéficas para as áreas em foco, tendo em conta possíveis condicionantes à intervenção local: instalação de um espelho de água junto aos edifícios, criação de um parque no mesmo local e aplicação de pintura de alto albedo no asfalto na zona A; e a colocação estratégica de árvores na zona B. A modelação computacional foi feita através do *software* ENVI-met<sup>®</sup> com recurso ao forçamento de variáveis constantes de séries de dados relativas ao ano meteorológico típico do clima recente e à sua projecção para o período 2060-2100 (IPCC AR4), obtidas via Meteonorm<sup>®</sup>. A análise comparativa da temperatura das superfícies, da temperatura do ar a 1,5 m e da temperatura fisiológica equivalente a 1,5 m indica que o espelho de água é uma das medidas com maior potencial em bairros semelhantes à zona A, dado que contribui para a redução do stress térmico na sua proximidade, podendo ocorrer projecção de ar arrefecido no sentido do vento. Já na zona B, é evidente o papel do sombreamento e da evapotranspiração realizada pelas árvores presentes ao longo dos caminhos pedonais. Estimou-se, também, um potencial de redução de CO<sub>2</sub> atmosférico de 4,9 kg/árvore e de 37,8 kg/árvore para as zonas A e B, respetivamente.

**Palavras-Chave:** ilha de calor, clima urbano, desconforto térmico, medidas de mitigação, envi-met

## Abstract

Due to the climate changes and the life style in the modern cities, there is given more and more attention to the difference of air temperature between urban centres and the surrounding peri-urban and rural areas – phenomenon known as Urban Heat Island (UHI). The UHI effect occurs due to the instability of the radioactive balance's components in the urban environment, caused by factors like: the absorption and solar radiation from the buildings; less presence of water masses and tree elements that promote the evaporative cooling; the predominance of impermeable floors; the streets' configuration being extremely squeezed, causing the imprisonment of the heat, or are too exposed without shading elements; the release of the exhaust gases by vehicles, industry and air conditioners.

This dissertation has the objectives of understanding the mechanics that have higher influences in the UHI effect of Lisbon city and explore measures of minimization/adaptation to it, focusing in the modulation and evaluation, at microscale, of a consolidated area (Uptown Lisbon [in Portuguese: Alta de Lisboa], zone A) and of an expectant area to intervene in the medium term (Entrecampos, zone B). Complementarily, it was estimated the capturing potential of anthropogenic CO<sub>2</sub> by existing trees in the analyzed areas, based on road traffic data in rush hour provided by VISUM simulations for Lisbon.

This study started from a literature review and survey of various measures to reduce the UHI effect, among which were selected for modulation the ones more cost-effective to the focus areas, taking in account possible constraints on local intervention: installation of a water mirror next to the buildings, creation of a park in the same location, and application of high albedo paint on the asphalt in zone A; and the strategic placement of trees in zone B. The computing modulation was made using the software ENVI-met<sup>®</sup> with the use of forcing variables contained in data series for the typical meteorological year of the recent climate and its projection for the period 2060-2100 (IPCC AR4), obtained via Meteonorm<sup>®</sup>. The comparative analysis of soil temperature, air temperature at 1,5 m and physiological equivalent temperature at 1,5 m indicated that the water mirror is one measure with more potential in neighborhoods similar to zone A, because it contributes to the reduction of the thermal stress in its proximity, possibility making cooling air be projected towards the wind. In zone B, it is evident that the shading and the evapotranspiration released by trees presented along the pedestrian paths. It was, also, estimated a potential for reducing atmospheric CO<sub>2</sub> by 4,9 kg/tree and 37,8 kg/tree for zones A and B, respectively.

**Keywords:** heat island, urban climate, thermal discomfort, mitigation measures, envi-met

# Índice

Resumo.....	i
Abstract .....	ii
Índice de figuras.....	v
Índice de tabelas .....	vii
Agradecimentos.....	viii
Nomenclatura e abreviações .....	ix
1 Introdução.....	11
1.1 Contexto .....	11
1.2 Objetivos .....	12
1.3 Estrutura da dissertação.....	13
2 Ilha de calor urbano.....	14
2.1 Balanço radiativo.....	14
2.1.1 Calor sensível e calor latente .....	15
2.1.2 Ilha de calor urbano.....	16
2.2 Impactos da ilha de calor urbano.....	17
2.2.1 Sistemas de arrefecimento de temperatura do interior .....	17
2.2.2 Emissões de poluentes do ar e gases com efeito de estufa .....	17
2.2.3 Redução do conforto e da saúde humana .....	18
2.2.4 Diminuição da qualidade da água.....	19
2.3 Mitigação da ilha de calor urbano .....	19
2.3.1 Massas de água.....	19
2.3.2 Pavimentação.....	19
2.3.3 Revestimento de edifícios.....	20
2.3.4 Tráfego automóvel .....	20
2.3.5 Urbanização.....	21
2.3.6 Espaços verdes .....	21
2.4 Importância das árvores nos centros urbanos .....	21
2.5 Ilha de frio urbano .....	22
3 Revisão de literatura.....	23
4 Métodos.....	28
4.1 ENVI-met .....	28
4.2 Descrição das áreas de estudo .....	31
4.3 Dados meteorológicos .....	32
4.3.1 Série experimental.....	32

4.3.2	Série sintética (clima recente) .....	34
4.3.3	Série sintética (clima futuro) .....	38
4.4	Seleção de medidas a implementar nos casos de estudo .....	41
4.5	Elementos construtivos e vegetação .....	41
4.5.1	Materiais .....	42
4.5.2	Vegetação .....	45
4.5.3	Informações sobre os modelos de simulação .....	47
4.6	Esquematização dos métodos relativos aos dados climáticos .....	49
4.7	Potencial de captura de CO <sub>2</sub> .....	50
5	Resultados e discussão .....	53
5.1	Mitigação da ICU na Alta de Lisboa .....	53
5.1.1	Cenário atual .....	54
5.1.2	Medidas de mitigação .....	57
5.1.3	Medida de mitigação proposta .....	62
5.2	Mitigação da ICU em Entrecampos .....	65
5.2.1	Cenário atual .....	65
5.2.2	Urbanização planeada .....	68
6	Conclusões do estudo da ilha de calor urbano .....	71
6.1	Alta de Lisboa .....	71
6.2	Entrecampos .....	72
7	Captura de CO <sub>2</sub> .....	73
7.1	Introdução .....	73
7.1.1	Contexto .....	73
7.1.2	Objetivo .....	73
7.1.3	Estrutura .....	73
7.2	Importância das árvores .....	74
7.3	Revisão da literatura .....	75
7.4	Resultados e discussão .....	76
7.5	Conclusões .....	80
8	Conclusões gerais .....	81
9	Trabalho futuro .....	82
10	Referências bibliográficas .....	83
Anexos	.....	99
	Anexo A – Medidas presentes na bibliografia .....	99
	Anexo B – Temperaturas dos modelos de simulação .....	108
	Anexo C – Custos económicos das medidas na área da Alta de Lisboa .....	109

## Índice de figuras

Figura 1.1: Mecanismos responsáveis pelo efeito de Ilha de Calor Urbano (Sabnis, 2016).....	11
Figura 2.1: Representação do balanço radiativo rural (a) e o existente numa zona urbana (b) durante o dia (Oke et al., 2017).....	14
Figura 2.2: Perfil da ilha de calor urbano (Cool Parramatta, 2016). ....	16
Figura 2.3: Funcionamento do ar condicionado para arrefecimento. Setas azuis referem-se a temperatura inferior à do meio e a vermelho superior, laranja e ciano à temperatura de entrada (All Pro A/C and Heating, 2018).....	17
Figura 2.4: Mortalidade estimada nas Midlands Ocidentais causadas pelo calor (Heaviside et al., 2016).....	18
Figura 2.5: Variação mensal da ICU em período diurno para as áreas urbanas que sofrem de IFU em maio, na Índia. ....	22
Figura 3.1: Número de medidas analisadas, por categoria e país. O número de estudos representativos de cada país encontra-se entre parêntesis retos. ....	23
Figura 3.2: Clima mediterrânico de verão quente (Csa) (Peel, Finlayson & McMahon, 2011). ....	24
Figura 3.3: Número de medidas analisadas, por categoria, para países com urbanizações em clima Csa e arredores. ....	24
Figura 3.4: Número de medidas analisadas, por categoria, para países com urbanizações em clima Csa e regiões próximas, divididas entre implementadas, numéricas/experimentais e teóricas (de cima para baixo).....	25
Figura 4.1: Vista aérea das áreas urbanas estudadas: a) Zona A, na Alta de Lisboa [38.773463, -9.154156],.....	31
Figura 4.2: Condições medianas reais aproximadas, vento no quadrante N-O, para um período de 3 dias centrado nos dias extremo de verão (à esquerda), verão típico (no centro) e inverno típico (à direita). ....	33
Figura 4.3: Comparação da temperatura e da velocidade do vento entre os resultados sintéticos e experimentais .....	36
Figura 4.4: Análise da persistência dos dias analisados.....	37
Figura 4.5: Comparação entre os climas recente e futuro para o dia extremo e típico de verão. ...	40
Figura 4.6: Modelos base da Alta de Lisboa (a) e de Entrecampos (b).....	47
Figura 4.7: Isolamento térmico do vestuário (Vecchi, Lamberts & Candido, 2017). ....	48
Figura 4.8: Medições do tráfego automóvel nas áreas de estudos analisadas <sup>1</sup> .....	50
Figura 4.9: Distribuição horária da circulação de veículos. ....	51
Figura 5.1: Temperaturas horárias do cenário base da Alta de Lisboa, no verão.....	54
Figura 5.2: Temperaturas horárias do cenário base da Alta de Lisboa, no inverno. ....	55
Figura 5.3: PET a 1,5 m do solo respetivo ao cenário base da área da Alta de Lisboa. ....	56
Figura 5.4: Medidas de mitigação propostas para a área da Alta de Lisboa. ....	57
Figura 5.5: Variação da temperatura horária da superfície entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base.....	58
Figura 5.6: Variação da temperatura horária do ar a 1,5 m entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base da.....	58
Figura 5.7: Variação da PET a 1,5 m entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base da.....	59
Figura 5.8: Variação da PET a 1,5 m entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base da.....	60

Figura 5.9: Variação das temperaturas horárias entre o clima futuro e o recente com a implementação do lago na área da Alta de Lisboa, no verão. ....	62
Figura 5.10: Variação da PET a 1,5 m entre o clima futuro e o recente com a implementação do lago na área da Alta de Lisboa, no verão.....	63
Figura 5.11: Temperaturas horárias do cenário base de Entrecampos, no verão. ....	65
Figura 5.12: Temperaturas horárias do cenário base de Entrecampos, no inverno. ....	66
Figura 5.13: PET a 1,8 m do solo respetivo ao cenário base da área de Entrecampos. ....	67
Figura 5.14: Variação das temperaturas horárias entre a implementação da medida de mitigação e o cenário base de .....	68
Figura 5.15: Variação da PET a 1,8 m entre a nova construção e o cenário base de Entrecampos. ....	69
Figura 5.16: Sugestão de não plantação das árvores na área de Entrecampos (representada em retângulos de pontos).....	70
Figura 7.1: Importância das árvores e exemplos de aplicação (Ontario, 2016). ....	74
Figura 7.2: Captura horária estimada de CO <sub>2</sub> de todas as árvores. ....	76
Figura 7.3: Captura horária estimada de CO <sub>2</sub> , por árvore. ....	77



## Índice de tabelas

Tabela 3.1: Custo/Benefício das medidas em cidades com clima Csa e urbanizações próximas. .	26
Tabela 4.1: Características do ENVI-met (ENVI-met, 2019-b).....	30
Tabela 4.2: Características relevantes acerca das áreas em estudo. ....	31
Tabela 4.3: Erros máximos dos dias sintéticos candidatos face aos dias experimentais, por tipo de dia.....	34
Tabela 4.4: Dias sintéticos candidatos e respetivos erros (assinalados os mais baixos). ....	35
Tabela 4.5: Principais diferenças entre os cenários B1, A1B e A2 do modelo SRES (IPCC, 2000). .....	39
Tabela 4.6: Principais diferenças entre os cenários 4.5 e 8.5 do modelo RCP (CoastAdapt, 2017). .....	39
Tabela 4.7: Materiais utilizados nas fachadas dos edifícios e respetivas características. ....	42
Tabela 4.8: Materiais utilizados nos telhados dos edifícios e respetivas características.....	43
Tabela 4.9: Materiais utilizados nos pavimentos e respetivas características. ....	44
Tabela 4.10: Árvores adotadas e características associadas.....	45
Tabela 4.11: Vegetação rasteira adotada e características associadas.....	46
Tabela 4.12: Informação usada para o cálculo da PET. ....	48
Tabela 4.13: Categorização da PET [traduzido de (Zare et al., 2018)]. ....	49
Tabela 4.14: Circulação de veículos nas horas de ponta. ....	51
Tabela 4.15: Circulação diária de veículos estimada. ....	51
Tabela 4.16: Emissões considerações dos veículos urbanos (Ntziachristos & Samaras, 2019).....	52
Tabela 4.17: Percentagem de veículos considerada a circular em Lisboa. ....	52
Tabela 4.18: Concentração de poluentes considerada (Nogueira & Mesquita, 2016). ....	52
Tabela 5.1: Custos associados (em k€) às medidas propostas. ....	61
Tabela 7.1: Potencial de sequestro de CO <sub>2</sub> por parte das árvores urbanas anualmente em cidades europeias.....	75
Tabela 7.2: Emissões de CO <sub>2</sub> por categoria de veículo (BEIS, 2019; Ambel, 2015).....	75
Tabela 7.3: Resultados obtidos para as emissões de CO <sub>2</sub> das viaturas (E <sub>V</sub> ) e potencial de captura de CO <sub>2</sub> das árvores (E <sub>A</sub> ). ....	78
Tabela 7.4: Potencial de captura de CO <sub>2</sub> total (E <sub>T</sub> ) e por árvore (E <sub>A</sub> ). ....	79

## Agradecimentos

Sendo esta uma fase importante da vida, não poderia deixar de agradecer a algumas pessoas que tornaram tudo isto possível.

Em primeiro lugar, aos meus pais e avós pelo apoio que me deram até hoje nesta caminhada da vida, tanto nos momentos bons como em maus, e que tenho a certeza que continuarão a fazê-lo.

À minha orientadora Doutora Sara Freitas, por toda a contribuição que teve, com dicas, conselhos e conhecimentos, que me ajudaram bastante na realização deste trabalho.

À equipa da Lisboa E-Nova – Agência Municipal de Energia e Ambiente, pela oportunidade em fazer parte de um projeto importante para o futuro de parte do concelho de Lisboa. Agradecimentos especiais ao Nuno Climaco e à diretora técnica-financeira Maria João Rodrigues pela ajuda prestada na fase inicial do trabalho e, claro, à minha orientadora que já foi referida.

Aos professores da Faculdade de Ciências que, de forma indireta e profissional, apoiam os alunos para os preparar para o futuro. No caso deste trabalho, agradecimentos especiais ao meu orientador, Professor Doutor Miguel Brito, por toda a ajuda prestada, e ao Professor Doutor José Lino Costa, da área da Biologia Animal, pelo contacto externo que forneceu para apoio na recolha de parte dos dados iniciais.

Ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território por ter fornecido a série experimental usada como base para a determinação dos dias sintéticos do estudo.

À doutoranda Márcia Matias, do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, ao meu colega de curso Ricardo Ferreira e à equipa de suporte do ENVI-met ao esclarecerem dúvidas quanto à utilização do *software* ENVI-met.

Ao meu colega e amigo, André Raposo, que se disponibilizou para fornecer *feedbacks* sobre o relatório do trabalho.

Por último, e tal como lhe tinha prometido nos momentos finais de vida, à memória do meu gato, Teco, que faleceu durante a realização deste trabalho, em novembro de 2019. E, também, pelo mais recente membro da casa, que veio em março, o Félix, também um gato, ter devolvido aquela energia extra que apenas os amigos de quatro patas dão à casa.

## Nomenclatura e abreviações

Parâmetros/Índices	Descrição
$\Delta Q_A$	Transferência horizontal de calor sensível e latente no sistema [ $\text{W m}^{-2}$ ]
$\Delta Q_s$	Fluxo de energia retido/libertado na/pela estrutura urbana [ $\text{W m}^{-2}$ ]
$\beta$	Razão de Bower
AR4	Quarto relatório de avaliação do IPCC
AR5	Quinto relatório de avaliação do IPCC
(B)VOC	Compostos orgânicos voláteis (biogénicos)
Bus	Transportes públicos urbanos
Coaches	Autocarros de turismo
CML	Câmara Municipal de Lisboa
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
GEE	Gases de efeito de estufa
H	Humidade relativa [%]
HDV	Veículos comerciais pesados
Hg	Mercúrio
I	Radiação global [ $\text{W m}^{-2}$ ]
ICU	Ilha de calor urbano
IFU	Ilha de frio urbano
IGOT	Instituto de Geografia e Ordenamento do Território
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
LDV	Veículos comerciais leves e de transporte
MAE	<i>Mean absolute error</i> (erro absoluto médio)
MC	Motociclos
NCDC	<i>National Climatic Data Center</i> (Centro Nacional de Dados Climáticos)
NO <sub>x</sub>	Óxidos de azoto
PC	Automóveis de passageiros
PET	Temperatura fisiológica equivalente [ $^{\circ}\text{C}$ ]
PM	Material particulado
PUCS	Pan-European Urban Climate Service
Q*	Fluxo de radiação que entra no sistema [ $\text{W m}^{-2}$ ]
Q <sub>E</sub>	Fluxo de calor latente [ $\text{W m}^{-2}$ ]

Parâmetros/Índices	Descrição
$Q_F$	Fluxo de energia introduzida através das atividades antropogénicas [ $W\ m^{-2}$ ]
$Q_G$	Fluxo de calor sensível (através de condução) [ $W\ m^{-2}$ ]
$Q_H$	Fluxo de calor sensível [ $W\ m^{-2}$ ]
RCP	Patamares de concentração representativos
RMSE	<i>Root mean square error</i> (raiz quadrada do erro médio)
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SRES	Relatório Especial sobre Cenários de Emissões
T	Temperatura [ $^{\circ}C$ ]
UTC	Tempo Universal Coordenado
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e da Organização Meteorológica Mundial
W	Velocidade do vento [ $m\ s^{-1}$ ]
WMO	Organização Meteorológica Mundial
Zona A	Área de estudo situada na Alta de Lisboa
Zona B	Área de estudo situada em Entrecampos

# 1 Introdução

Esta secção é iniciada através de uma breve contextualização do estudo, seguido dos seus objetivos e, por fim, da estrutura da dissertação.

## 1.1 Contexto

De acordo com as Nações Unidas, em 2017, mais de metade da população mundial vivia em meio urbano – 55% de um total de 7,5 mil milhões de pessoas. Apesar desta percentagem, apenas cerca de 1% da área continental encontra-se com construção. Estimativas apontam que em 2050 habitarão no planeta 9,8 mil milhões de pessoas, sendo que 68% residirão em zonas urbanizadas, com apenas 32% em meios rurais.

Deve notar-se que não existe um consenso global para classificar uma dada área como urbanizada, pois, esta definição varia de país para país; porém, em Portugal, o critério baseia-se num número de habitantes superior a 2 mil. Em 2017, aproximadamente 65% da população portuguesa vivia em urbanizações, estando este valor projetado para 79% em 2050 (Ritchie & Roser, 2020). Esta crescente tendência de migração das populações para as cidades origina desafios de sustentabilidade a diversos níveis, tais como a gestão de recursos, mobilidade e qualidade de vida.

Ilha de Calor Urbano (ICU) é um conceito cada vez mais empregue nas discussões relativas à qualidade de vida das pessoas no meio urbano. Entende-se por ICU uma zona urbana cuja temperatura média do ar é superior à das zonas rurais na sua vizinhança, devendo-se às alterações provocadas pela presença da urbanização no ambiente (Rutledge et al., 2011). Este efeito condiciona, de forma negativa, o conforto térmico e, por consequência, a saúde dos habitantes (Greater London Authority, 2006).

A ICU ocorre devido à infraestrutura urbana acumular tanto o calor (radiação infravermelha) proveniente do Sol como o que ela própria gera em níveis baixos de altitude em relação ao solo (Rutledge et al., 2011). Conforme se pode observar no esquema da Figura 1.1, fatores como um menor albedo dos materiais usados no edificado e na pavimentação, a maior densidade da área urbana, a menor presença de vegetação, a menor capacidade de absorção de água pelo solo, o alto nível de poluição atmosférica e a libertação de calor proveniente de fontes antropogénicas são alguns dos fatores que agravam o fenómeno ICU (Sabnis, 2016).

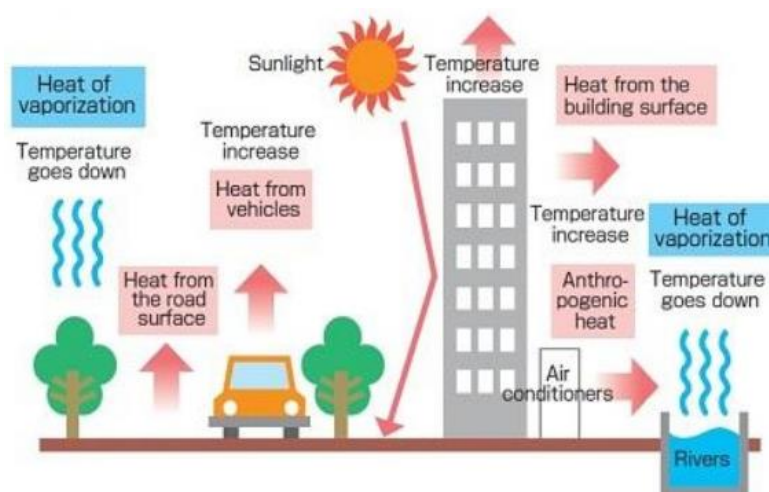


Figura 1.1: Mecanismos responsáveis pelo efeito de Ilha de Calor Urbano (Sabnis, 2016).

A ocorrência de uma Onda de Calor, ou de um outro fenómeno climático extremo, aumenta o impacto dos mecanismos referidos anteriormente. Por outro lado, fatores sociodemográficos e fisiológicos, como a idade e o género, a existência de condições de saúde cardíacas e/ou respiratórias, a classe social e o nível de rendimentos, o tipo e estado de conservação da habitação, entre outros, podem contribuir para uma maior vulnerabilidade às consequências da ICU em agregados familiares incapazes de adotar medidas de alívio ou mitigação do desconforto térmico, tanto nos espaços interiores como nos exteriores (Greater London Authority, 2006).

De forma a melhorar a qualidade de vida nos centros urbanos, é importante que sejam implementadas estratégias para minimizar o efeito ICU, sendo as mais comuns a aplicação de materiais construtivos com maior albedo tanto em edifícios como nos pavimentos, a substituição de pavimentos por outros permeáveis, a densificação de coberto arbóreo e vegetal e de massas de água, etc. O correto planeamento destas medidas por parte das autoridades locais, tanto em novas urbanizações como na alteração das existentes permite não só a diminuição do efeito da ICU como a redução de outros efeitos negativos, tais como a poluição do ar causada pela atividade humana.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação foi, através da revisão de literatura e de boas práticas, a **recolha de diferentes medidas de mitigação da ICU** que podem ser aplicadas, de forma estratégica, em duas áreas do município de Lisboa: zona A – residencial e consolidada, na Alta de Lisboa; e zona B – de construção futura, em Entrecampos.

Para ser possível uma análise às medidas mencionadas, utilizou-se uma ferramenta de simulação de microclima, o ENVI-met, para simular os casos de estudo considerando tanto o clima recente como projeções para 2060-2100, de modo a **averiguar o custo-benefício a longo-prazo das medidas** propostas.

Num capítulo à parte, foi realizado um estudo para ajudar a **compreender o potencial de captura do CO<sub>2</sub> pelas árvores** atualmente presentes nas mesmas áreas de estudo.

### 1.3 Estrutura da dissertação

Inicia-se esta dissertação com uma descrição do balanço radiativo no meio urbano e do seu contributo para a formação de ICU, assim como os impactos que esta provoca nos habitantes (**Capítulo 2**). São também exemplificadas formas de mitigação da mesma, bem como descrita a importância que as árvores têm nas urbanizações. Discute-se, também, o efeito oposto, a ilha de frio urbano, e o porquê de esta ter sido negligenciada no estudo.

De seguida, é feita uma revisão da literatura (**Capítulo 3**) de forma a apoiar a seleção de medidas de mitigação/adaptação à ICU a serem propostas antes da simulação das mesmas. Para cada tipo de medida são, também, apresentados alguns dos seus custos/benefícios.

Posteriormente, no **Capítulo 4**, abordam-se os métodos empregues na modelação 3D das áreas de estudo e na definição dos parâmetros *input* das simulações. É fundamentada a escolha da ferramenta computacional ENVI-met, os dias de simulação que retratem condições climáticas características de verão e de inverno, bem como de condições de calor extremo.

O **Capítulo 5** dedica-se à apresentação e discussão dos resultados das simulações executadas e no **Capítulo 6** são tiradas conclusões acerca do estudo da mitigação da ICU.

Finalmente, no **Capítulo 7**, é descrito todo o estudo referente ao potencial de retenção de CO<sub>2</sub> pelas árvores nas áreas de estudo, apresentadas conclusões gerais da dissertação no **Capítulo 8** e expostas propostas de projetos a serem realizados no futuro, de forma a aumentar a qualidade dos resultados de trabalhos semelhantes ao da presente dissertação (**Capítulo 9**).

## 2 Ilha de calor urbano

Neste capítulo, descreve-se a relação entre as componentes do balanço radiativo que dão origem ao fenómeno ICU. Posteriormente, abordam-se os seus possíveis impactos, seguidos de potenciais medidas de mitigação. Por fim, coloca-se a ICU em perspetiva face à IFU (ilha de frio urbano).

### 2.1 Balanço radiativo

O balanço radiativo urbano descreve os fenómenos de troca de energia (calor) entre a atmosfera e a superfície, através de mecanismos de radiação, convecção e condução (Oke, Mills, Christen & Voogt, 2017). Este balanço é afetado pelo grau de urbanização de uma área e pelos processos antropogénicos inerentes à mesma, conforme ilustrado na Figura 2.1.

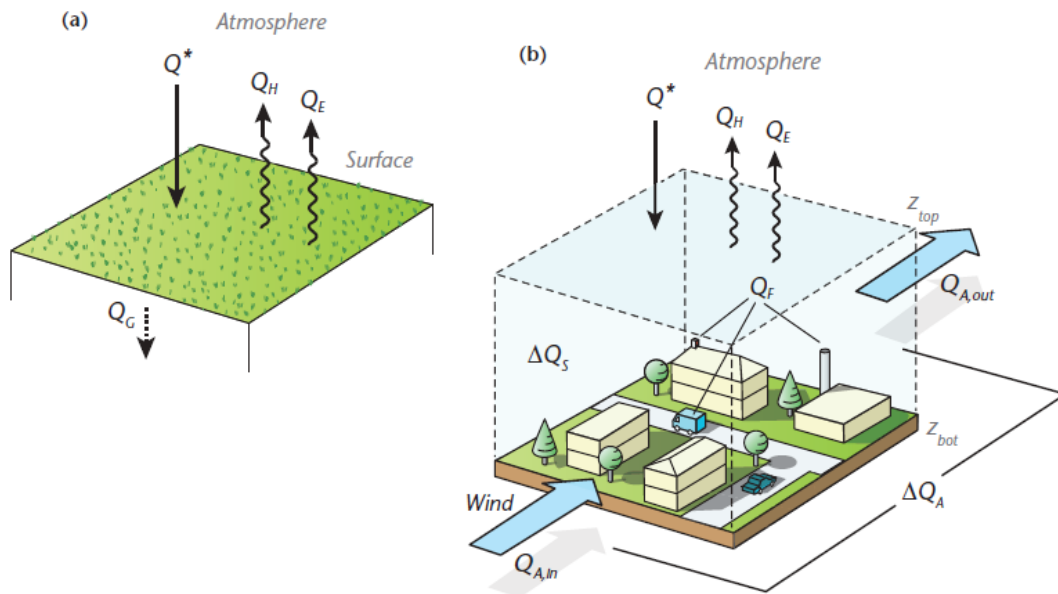


Figura 2.1: Representação do balanço radiativo rural (a) e o existente numa zona urbana (b) durante o dia (Oke et al., 2017).

No modelo rural, verifica-se um fluxo de radiação que entra no sistema ( $Q^*$ ), sendo que este emite para a atmosfera calor sensível ( $Q_H$ ) e calor latente ( $Q_E$ ) e que transfere calor sensível ( $Q_G$ ) através de condução para o substrato, tal como demonstrado na Equação (2.1).

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G \text{ [W m}^{-2}\text{]} \quad (2.1)$$

Quanto ao modelo referente à urbanização, o sistema torna-se mais complexo que o rural. Conforme demonstrado na Equação (2.2), além de entrar fluxo de radiação no sistema ( $Q^*$ ), também existe energia introduzida através das atividades antropogénicas ( $Q_F$ ), associada à existência, à atividade e ao transporte de pessoas e bens. A existência das emissões de calor sensível ( $Q_H$ ) e calor latente ( $Q_E$ ) prevalece, deixando de ser transferido calor sensível através de condução ( $Q_G$ ). No entanto, passa a existir fluxo de energia que é retido na estrutura urbana ou libertado pela mesma ( $\Delta Q_S$ ) através de todo o tecido da cidade, o qual inclui os materiais de construção, as árvores, a terra e o ar contido na urbanização, e de transferência horizontal tanto de calor sensível como de calor latente no sistema ( $\Delta Q_A$ ) por parte do vento.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \text{ [W m}^{-2}\text{]} \quad (2.2)$$

Durante a noite, quando existe arrefecimento das áreas, os sentidos dos fluxos representados na Figura 2.1 invertem-se (Oke et al., 2017).



### 2.1.1 Calor sensível e calor latente

O calor sensível ( $c$ ), denominado também de calor específico, ocorre quando existe variação da temperatura de uma substância sem que exista mudança do estado físico da mesma. O respetivo fluxo é calculado utilizando a Equação (2.3).

$$Q_H = \frac{m c \Delta T}{A} \quad (2.3)$$

$Q_H$  é a variável correspondente ao fluxo de calor sensível [ $\text{W m}^{-2}$ ], enquanto que  $m$  à massa da substância [kg],  $c$  ao calor sensível da mesma [ $\text{W kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ],  $\Delta T$  à diferença da sua temperatura [K] e  $A$  à respetiva área [ $\text{m}^2$ ].

De forma oposta, o calor latente ( $L_V$ ) é o fenómeno que se dá quando uma substância sofre modificação do estado físico sem que esta obtenha alterações na temperatura. O fluxo é estimado com recurso à Equação (2.4).

$$Q_E = \frac{L_V m}{A} \quad (2.4)$$

A variável  $Q_E$  refere-se ao fluxo de calor latente [ $\text{W m}^{-2}$ ],  $L_V$  ao calor latente da substância [ $\text{MW kg}^{-1}$ ].

Uma forma esclarecedora para compreender as diferenças entre calor latente e sensível é através da análise das três principais transições de fase da água. A fusão representa a mudança de estado físico do sólido para o líquido, enquanto que a vaporização do líquido para o gás. Estas duas alterações representam um ganho de calor latente proveniente da atmosfera, sendo a variação do calor sensível nula, levando ao arrefecimento do ar ambiente. Situação inversa ocorre na solidificação e na condensação, respetivamente. No caso da sublimação, que representa a mudança do estado sólido diretamente para o gasoso, ambos os tipos de calores sofrem um aumento. A sublimação inversa, como o próprio nome indica, é o fenómeno oposto. Os dois processos referidos são menos frequentes que os restantes.

A razão entre o fluxo de calor sensível ( $Q_H$ ) e o latente ( $Q_E$ ), geralmente denominada razão de Bower ( $\beta$ ) (Equação (2.5)) é um importante índice para o clima junto da superfície. Se existe um maior fluxo de calor sensível que de latente,  $\beta > 1$ , verifica-se um aumento da temperatura na baixa atmosfera, contribuindo para o fenómeno de ICU. Se o contrário ocorrer, esta mantém-se fresca, além de contribuir para o aumento da humidade no meio ambiente.

$$\beta = \frac{Q_H}{Q_E} \quad (2.5)$$

### 2.1.2 Ilha de calor urbano

O desequilíbrio no balanço radiativo no meio urbano, nomeadamente a excessiva contribuição das componentes  $\Delta Q_S$  e  $Q_F$  devida às alterações provocadas no ambiente para fazer face às necessidades de uma grande densidade de habitantes, origina o fenómeno ICU, caracterizado pela temperatura média do ar numa urbanização ser mais elevada do que a das zonas rurais envolventes. Num dia de verão, as temperaturas das coberturas dos edifícios e dos pavimentos poderão ser 27 a 50 °C mais elevadas do que a temperatura do ar ambiente, enquanto que se estas forem sombreadas ou humedecidas, as temperaturas serão mais próximas (Berdahl & Bretz, 1997). Devido a este facto, as cidades poderão apresentar uma temperatura do ar até 12 °C acima da do meio rural envolvente (Akbari, 2005a). Na Figura 2.2 encontra-se representado um exemplo do perfil típico da temperatura ao final da tarde em diferentes meios, devido ao efeito de ICU.



Figura 2.2: Perfil da ilha de calor urbano (Cool Parramatta, 2016).

O fenómeno da ICU pode ter impactos negativos e positivos. Exemplos de impactos positivos são o prolongamento da estação de cultivo de plantas, o que leva a uma maior taxa de fotossíntese beneficiando a produção de frutos e a captura de CO<sub>2</sub> (BBC, 2018), e o aumento do conforto térmico no inverno, levando a uma diminuição no consumo energético para aquecimento. Porém, a maioria dos impactos são negativos (EPA, 2019a), sendo importante o estudo de medidas como forma a minimizá-los.

As causas que levam à formação da ICU são variadas: a remoção de árvores e vegetação elimina os efeitos de sombreamento e de evapotranspiração tanto da água como das folhas; as superfícies impermeáveis ou escuras absorvem o calor durante o dia e libertam-no durante a noite; os edifícios altos e as ruas estreitas reduzem o fluxo de vento e retêm o calor em níveis baixos de altitude; e os veículos, fábricas e ares condicionados que emitem gases de exaustão quentes para a atmosfera.

## 2.2 Impactos da ilha de calor urbano

Os quatro principais desafios consequentes dos fenómenos de ICU são o aumento do consumo da eletricidade no período de verão pelos sistemas de arrefecimento do interior dos edifícios, a poluição do ar e emissão de GEE, a diminuição da qualidade de vida ao nível de saúde e conforto térmico, e a diminuição da qualidade das águas (EPA, 2019a).

### 2.2.1 Sistemas de arrefecimento de temperatura do interior

Durante um dia de calor extremo, os sistemas de arrefecimento do ar no interior dos edifícios são mais utilizados pela população. Estudos indicam que, a partir dos 20 °C, a cada 0,6 °C, a procura por este tipo de equipamentos aumenta de 1,5 a 2,0 % (Akbari, 2005b). No entanto, para arrefecer a temperatura do interior, os sistemas de ar condicionado expõem calor para o exterior, levando a que a temperatura do ar exterior aumente (Figura 2.3), exacerbando o efeito de ICU, principalmente em ruas estreitas e de fachadas altas.

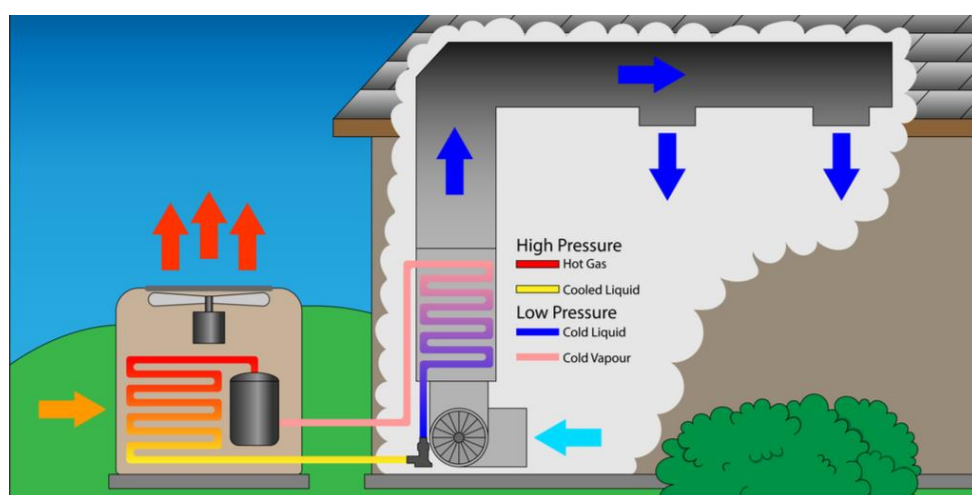


Figura 2.3: Funcionamento do ar condicionado para arrefecimento. Setas azuis referem-se a temperatura inferior à do meio e a vermelho superior, laranja e ciano à temperatura de entrada (All Pro A/C and Heating, 2018).

### 2.2.2 Emissões de poluentes do ar e gases com efeito de estufa

Uma realidade que tem vindo a ser combatida pela urgência climática, mas ainda muito presente, é a utilização de combustíveis fósseis no setor energético e nos transportes. O seu consumo leva ao aumento da poluição do ar, nomeadamente com dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), material particulado (PM), monóxido de carbono (CO) e mercúrio (Hg), além de emissões de GEE, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estes poluentes têm impactos negativos na saúde humana, contribuindo também para a formação de *smog*, material particulado fino, chuva ácida e alterações climáticas (EPA, 2019a).

### 2.2.3 Redução do conforto e da saúde humana

Devido à infraestrutura urbana acumular, além da radiação proveniente do Sol, o calor gerado por ela mesma em níveis baixos de altitude em relação ao solo (Rutledge et al., 2011), a temperatura média durante o período diurno é superior e existe uma redução da taxa de arrefecimento durante a noite, afetando, de forma negativa, a saúde humana e o seu conforto. Algumas das consequências mais preocupantes são a maior probabilidade de ocorrência de perturbações fisiológicas, insolação, danos nos órgãos e mesmo mortalidade. A idade mais avançada, o género feminino, pacientes internados em hospitais, residentes em lares de idosos, pessoas com problemas de saúde ao nível cardíaco e respiratório e classes mais pobres também vêm aumentando o risco de ocorrência de algum problema relacionado com o calor (Greater London Authority, 2006). A ocorrência de uma onda de calor, ou de um outro fenómeno climático extremo, aumenta o risco destes impactos. Uma onda de calor ocorre quando a diferença entre a temperatura máxima diária num intervalo de dias e o valor médio diário num período de referência seja acima de um certo valor (Peterson et al., 2001), sendo estes dependentes do tipo de clima da zona, pelo que a morbilidade é também um fator agravado pelas altas temperaturas.

Na região Centro-Occidental da Inglaterra, foi realizado um estudo acerca da mortalidade causada pela onda de calor de 2003, que afetou várias cidades da Europa, bem como projeções para o futuro considerando que não são tomadas quaisquer medidas de mitigação nem alterações ao nível da população residente. Foram considerados três cenários de temperatura média diária, sendo estas da população ponderada, da geográfica e rural (sem o efeito da ICU), como forma a ser possível uma comparação clara (Heaviside, Vardoulakis & Cai, 2016). Foram representados, na Figura 2.4, os resultados deste estudo.

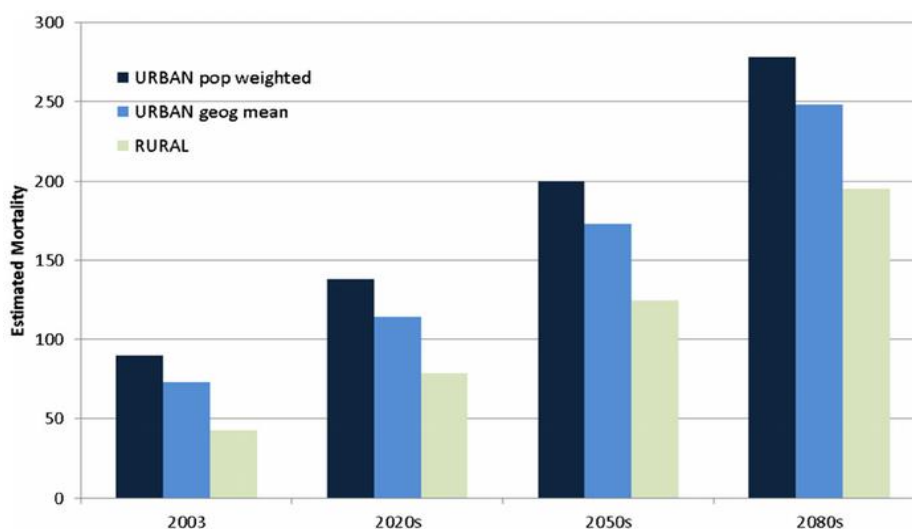


Figura 2.4: Mortalidade estimada nas Midlands Ocidentais causadas pelo calor (Heaviside et al., 2016).

Como verificado, o impacto que a ICU tem na mortalidade da população é significativo. Além do mais, projeções apontam que no Reino Unido a temperatura média anual poderá aumentar em até 3,0 °C, a precipitação sofrer um acréscimo de, no máximo, 25% no inverno e um decréscimo no verão até 60% no período de 1981-2000 até 2041-2060. Alargando o período até 2080-2099, os valores adquirem contornos ainda mais preocupantes, sendo a diferença máxima de 6,3 °C para a temperatura média anual, quanto à precipitação esta aumenta até 48% no inverno e sofre uma diminuição de, no máximo, 60% durante a estação de verão (Lowe et al., 2019). Este facto leva ao aumento da mortalidade verificada nas projeções futuras da Figura 2.4, apresentada anteriormente.

## 2.2.4 Diminuição da qualidade da água

As elevadas temperaturas existentes nos pavimentos e nos telhados das infraestruturas podem levar ao aumento da temperatura inicial da precipitação, isto é, a temperatura das partículas de água (e/ou gelo) que formam as nuvens no instante em que começa a chover. No caso desta água chegar aos ecossistemas marinhos, toda a vida existente neles será afetada devido ao aquecimento repentino da água. Este fenómeno leva a tensão e agitação, o que poderá prejudicar o metabolismo e a reprodução das espécies presentes no habitat, e, em casos mais extremos, levar à morte das mesmas (EPA, 2019a).

Águas mais quentes têm maior capacidade de dissolver substâncias eventualmente nocivas presentes nos solos da cidade, levando-as em direção aos cursos de água e impactando os ecossistemas aquáticos.

## 2.3 Mitigação da ilha de calor urbano

Da recolha feita ao nível da literatura científica/técnica, foram identificados diversos tipos de medidas de mitigação/adaptação ao efeito ICU. Para facilitar a leitura, esta secção foi dividida em diferentes categorias, sendo estas massas de água, pavimentação, revestimento de edifícios, tráfego automóvel, urbanização e espaços verdes.

### 2.3.1 Massas de água

Quanto às massas de água, foram encontradas medidas ao nível de rios, lagos, ribeiras e mares, tendo as referidas todas o mesmo efeito, e de arrefecimento evaporativo – a libertação de gotículas de água, na forma de vapor, para a atmosfera como forma a regular a temperatura ambiente (Ulpiani, di Perna & Zinzi, 2019b).

Para que uma medida relativamente às massas de água tenha sucesso, deverá existir uma boa ventilação natural na cidade, ou para a cidade se a massa de água estiver na vizinhança. As gotículas de água presentes na atmosfera, devido à evaporação das massas de água, levam à regulação da temperatura do ar (Han, Chen, Yuan, Cai & Han, 2011).

### 2.3.2 Pavimentação

Para os pavimentos foram encontradas três medidas de mitigação, sendo estas a aplicação de materiais frios e permeáveis e manter o piso molhado.

Por materiais frios entende-se aqueles que possuem um elevado albedo, sendo normalmente de cor clara, possibilitando uma elevada refletividade solar e alta taxa de emissividade térmica. A substituição de pavimentos convencionais por outros que contemplem materiais frios leva à diminuição da temperatura do solo e, de forma indireta, à do ar ambiente (Mahdavi, Kiesel & Vuckovic, 2014).

Quanto aos pavimentos permeáveis, estes beneficiam: a gestão das águas pluviais, o que faz com que se previna a ocorrência de cheias; o controlo de poluentes (mantendo-os no solo); e previnem o excesso de erosão, através da recarga das águas subterrâneas por parte do escoamento da precipitação. Também apresentam um contributo importante, de forma indireta, na diminuição do efeito da ICU, uma vez que o ar e a água que passam para o solo são usados pelas árvores urbanas (Ecotelhado, 2010).

Manter o piso molhado leva a que a superfície atinja temperaturas mais baixas que se tal não ocorresse, uma vez que a energia incidente serve para evaporar a água em vez de ser armazenada no solo. Por conseguinte, o piso emitirá menos radiação para a atmosfera, prevenindo o aquecimento da mesma (Rosheidat, Hoffman & Bryan, 2008). Porém, esta opção pode não ser viável uma vez que entra em conflito com a gestão da água como um recurso básico que, em situações de calor extremo, será prioritariamente direcionado para consumo humano.

### 2.3.3 Revestimento de edifícios

Existem várias medidas que permitem mitigar o efeito da ICU dentro da categoria dos revestimentos dos edifícios – fachadas e coberturas – nomeadamente a incorporação de materiais frios e de vegetação. A renovação das fachadas ou a construção de novas e a instalação de painéis fotovoltaicos são outras medidas de mitigação da ICU que foram referidas nos estudos analisados.

Como descrito no estudo de medidas de mitigação relativas à pavimentação, os materiais frios apresentam um elevado albedo. Este efeito leva à redução da temperatura nos telhados e fachadas e ao aumento do conforto térmico dentro dos edifícios, reduzindo o uso do ar condicionado e incrementando a eficiência energética dos mesmos (Energy Saver, 2019).

Quanto aos telhados e fachadas verdes, esta medida consiste na aplicação de coberto vegetal no exterior dos edifícios, levando a um sombreamento do mesmo, reduzindo a sua temperatura interna e aumentando a eficiência energética da mesma forma que foi referido para os materiais frios. Além destes fatores, a vegetação tem como outras vantagens o controlo dos poluentes que são transportados pela atmosfera e o fenómeno de evapotranspiração proveniente das plantas, que contribui para o arrefecimento do ar exterior (Mahdavi et al., 2014).

A renovação das fachadas é o efeito de modernizar as fachadas de edifícios antigos, como forma a valorizar os mesmos tanto economicamente como em termos ambientais (Kantor, 2017). Tem a vantagem de reduzir a carga existente de aquecimento e de arrefecimento do edifício e de melhorar a qualidade do envelope construtivo, melhorando o conforto térmico no interior do edifício. Uma opção mais extrema é a da reconstrução da fachada (Mahdavi et al., 2014), ou a aplicação de uma dupla fachada contendo elementos de sombreamento, como, por exemplo, módulos fotovoltaicos semitransparentes.

A instalação de painéis fotovoltaicos solares é uma outra medida que se encontra documentada. Estes podem ajudar a que o interior do edifício seja mais fresco. O sombreamento proporcionado pelos painéis solares ao edifício ajuda a que este não absorva tanto calor de dia e minimiza a emissão de calor durante a noite. Em termos de produção de energia elétrica, é de salientar que um painel fotovoltaico produz mais se for instalado no telhado do que na fachada (Cortes et al., 2015). Contudo, não há um consenso quanto ao possível efeito redutor da ICU dos painéis fotovoltaicos, havendo estudos que demonstram, ainda que de forma pouco significativa, o contrário (Brito, 2020).

### 2.3.4 Tráfego automóvel

Na categoria de tráfego automóvel, foram encontradas medidas tanto no seu controlo, como através de incentivos à mobilidade sustentável e ao uso de transportes públicos. Ambas têm como objetivo a diminuição da poluição do ar, de emissões de GEE e de calor antropogénico originados pela combustão fóssil nos motores dos automóveis (Giguère, 2012).

### 2.3.5 Urbanização

No caso de novos projetos, é importante fazer o planeamento da sua geometria e orientação como forma a reduzir o efeito de desfiladeiro urbano, isto é, o local onde existe adensamento de edifícios em ambos os lados da rua, o que afeta negativamente a temperatura, o vento, a qualidade do ar (Bass, Krayenhoff, Martilli & Stull, 2002) e a receção de sinais de rádio, dos quais incluem os sistemas de navegação por satélite (Broll, Ohlenburg, Lindt, Herbst & Braun, 2006). Um correto planeamento leva à redução dos efeitos referidos, diretamente relacionado com o transporte e com a advecção de ar fresco para a cidade (Mahdavi et al., 2014).

### 2.3.6 Espaços verdes

Na literatura foram encontradas duas medidas de mitigação da ICU semelhantes no que toca à categoria das áreas verdes, sendo estas a plantação de árvores urbanas ou de outro tipo de vegetação e a criação de parques urbanos.

A plantação de vegetação dentro do desfiladeiro urbano e a criação de parques urbanos permitem a redução da temperatura do ar devido aos fenómenos de evapotranspiração e de fotossíntese, a qual também contribui para a redução da poluição atmosférica. Uma outra vantagem é o sombreamento proporcionado a edifícios e ao solo, contribuindo para a redução da temperatura dos mesmos.

Aquando do planeamento urbano para combater problemas associados à ICU, as árvores ganham um papel importante uma vez que contribuem para o arrefecimento do ar, levando à redução do efeito ICU. No entanto, se este não for bem executado, poderá agravar ainda mais o problema ou levá-lo à situação inversa, a formação de IFU (secção 2.5).

Além do mencionado, as árvores urbanas contribuem para a mitigação de outros impactos ambientais negativos existentes nos centros urbanos, assim como das respetivas consequências socioeconómicas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016), as quais são abordadas na secção seguinte.

## 2.4 Importância das árvores nos centros urbanos

De entre os vários benefícios que as árvores constituem para as urbanizações, destacam-se: o aumento da segurança alimentar e nutricional da população; a incrementação da biodiversidade urbana; a mitigação de efeitos relacionados com as alterações climáticas, através da absorção do CO<sub>2</sub> existente no ar; o funcionamento como filtros de partículas finas; a melhoria da saúde física e mental da população; a regulação do fluxo de água; a redução da necessidade de utilização de equipamentos que emitam carbono; o sombreamento (no verão) e o efeito barreira ao vento (no inverno); através de um planeamento paisagístico, aumentar o valor económico da área através da atração de turismo e negócios (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016).

Mais informações sobre a importância das árvores nas urbanizações podem ser encontradas no estudo referente ao potencial de captura do CO<sub>2</sub>, presente no Capítulo 7.

## 2.5 Ilha de frio urbano

Enquanto se avaliam as medidas de mitigação a serem impostas numa determinada área de estudo, é importante que se tenha em atenção para que não exista o problema inverso à ICU no inverno, o designado de ilha de frio urbano (IFU). Este fenómeno consiste em que a temperatura do ar ao nível do solo numa urbanização, no período noturno, seja inferior à das zonas rurais na vizinhança (Eligh, 2016) e é causado pela falta de agricultura e irrigação das urbanizações em comparação com as áreas rurais envolventes e, durante o dia, pelos aerossóis atmosféricos (Kumar et al., 2017).

Foi realizado um estudo, na Índia, onde se verificou que, através do uso da ferramenta de simulação Community Land Model, a irrigação pode aumentar a temperatura do ar, ao nível do solo, em cerca de 6 °C e que durante a noite a diferença existente não é significativa. Foi, também, processado um gráfico com a variação média mensal da ICU para as cidades que sofrem de IFU em maio, o qual se encontra na Figura 2.5, verificando-se que o problema da IFU é mais decorrente no período de verão que no de inverno, podendo atingir os 1,5 a 4,0 °C para os meses de abril e maio (Kumar et al., 2017).

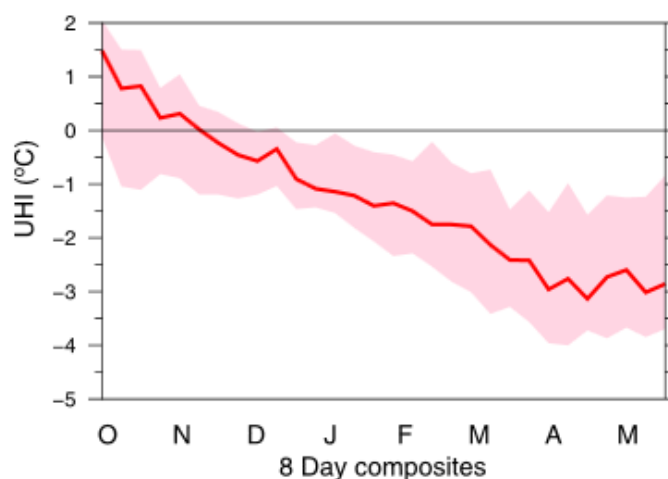


Figura 2.5: Variação mensal da ICU em período diurno para as áreas urbanas que sofrem de IFU em maio, na Índia. A linha contínua vermelha representa a média (Kumar et al., 2017).

No território português, foi analisada a situação da ICU e da IFU na cidade de Bragança. Tal como sucedido com o estudo mencionado no parágrafo anterior, efetuado na Índia, verificou-se que no verão ocorrem maiores situações de IFU, o mesmo se sucede com a ICU no inverno. Nesta localidade, a temperatura do ar em zonas urbanas face à vizinhança rural pode variar entre cerca dos -1,2 a 2,5 °C no inverno e os -3,5 a 5,5 °C no verão (Gonçalves et al., 2018).

A IFU em países como Portugal e Índia não se torna problemática, uma vez que possuem climas amenos no inverno, além de esta ocorrer principalmente no período diurno. Tal como para as cidades com problemas associados ao fenómeno da ICU, a ocorrência da IFU é mais notável durante o verão do que no inverno, o que, para este caso, se torna um fator positivo para os países já descrito, uma vez que leva à diminuição dos riscos associados ao calor, já referenciados na secção 2.2.

Abordada uma breve descrição acerca da ICU e, no final, da IFU, foi realizada uma revisão da literatura, que se encontra presente no capítulo seguinte.



### 3 Revisão de literatura

A revisão da literatura realizada teve como objetivo a recolha de medidas de mitigação abordadas em estudos prévios – teóricos, numéricos/experimentais, e implementações – e, também, o de auxiliar na escolha das melhores para os modelos de simulação das áreas deste estudo.

Inicia-se a revisão da literatura através da recolha de medidas de mitigação da ICU de 131 estudos, de 31 países, como forma a verificar quais as categorias mais recorridas. De seguida é dado ênfase aos estudos efetuados em cidades cujo clima seja semelhante ao de Lisboa ou próximas a urbanizações com tais características. Por fim, efetua-se uma análise qualitativa das medidas encontradas, de forma a selecionar as mais custo-benéficas a incluir nos modelos de simulação das áreas focadas nesta dissertação.

Na Figura 3.1 resumem-se as medidas de mitigação/adaptação ao efeito ICU, por país e categoria, constantes dos 131 estudos revistos. Uma análise mais aprofundada é apresentada no Anexo A, onde foi detalhada a referência literária e se teve em consideração o tipo de medida estudada por cidade. Faz-se notar que um estudo pode apresentar mais que uma medida.

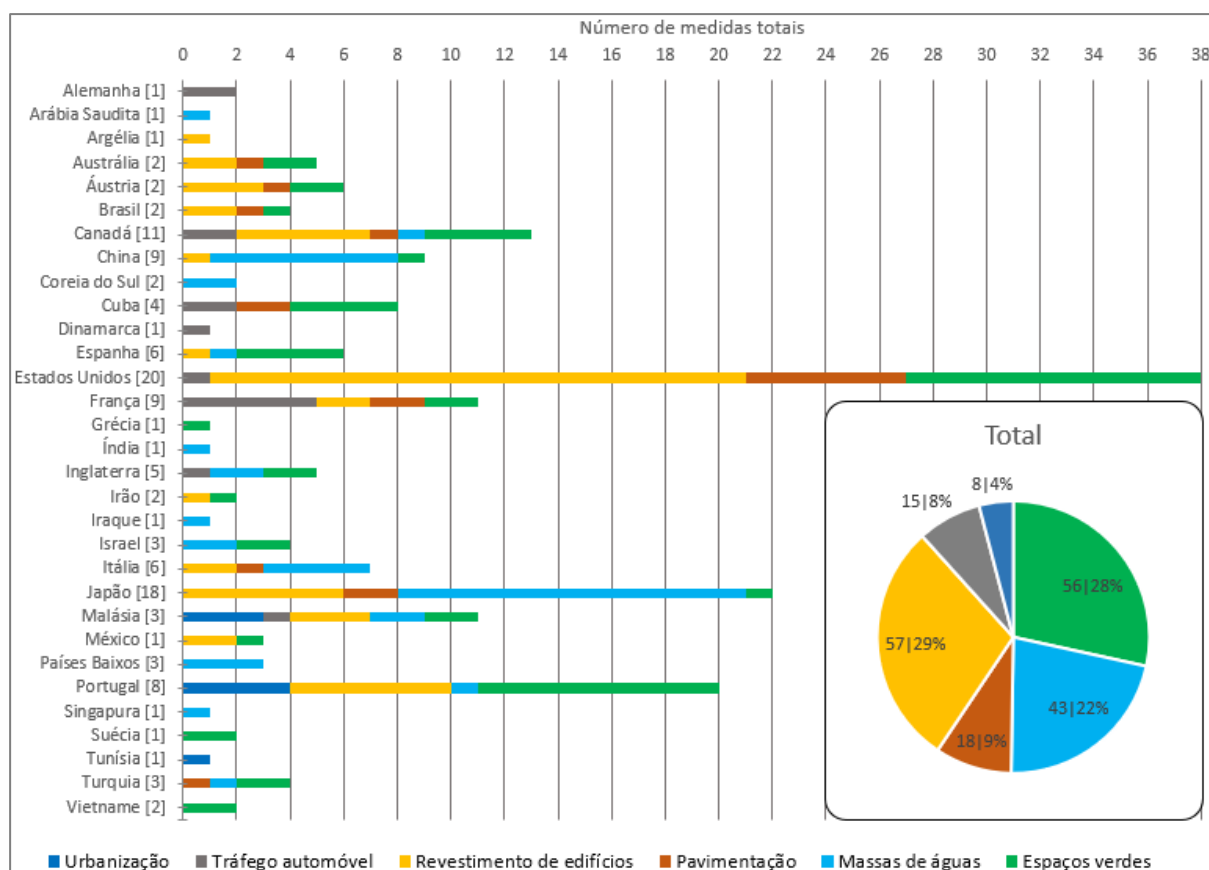


Figura 3.1: Número de medidas analisadas, por categoria e país. O número de estudos representativos de cada país encontra-se entre parêntesis retos.

Através da observação do gráfico anterior, verificou-se que os espaços verdes, as massas de água e o revestimento de edifícios apresentam um maior número de medidas face às restantes.

Como forma a descobrir o tipo de medidas mais aplicadas em regiões com climas semelhantes ao de Lisboa, verificou-se a classificação do clima das mesmas segundo a escala de Köpen-Geiger. Nesta, Lisboa pertence ao tipo de clima Csa, clima mediterrânico de verão quente (Climate-Data.org, 2013-a). No mapa da Figura 3.2 encontram-se representadas todas as regiões do mundo com este tipo de clima.

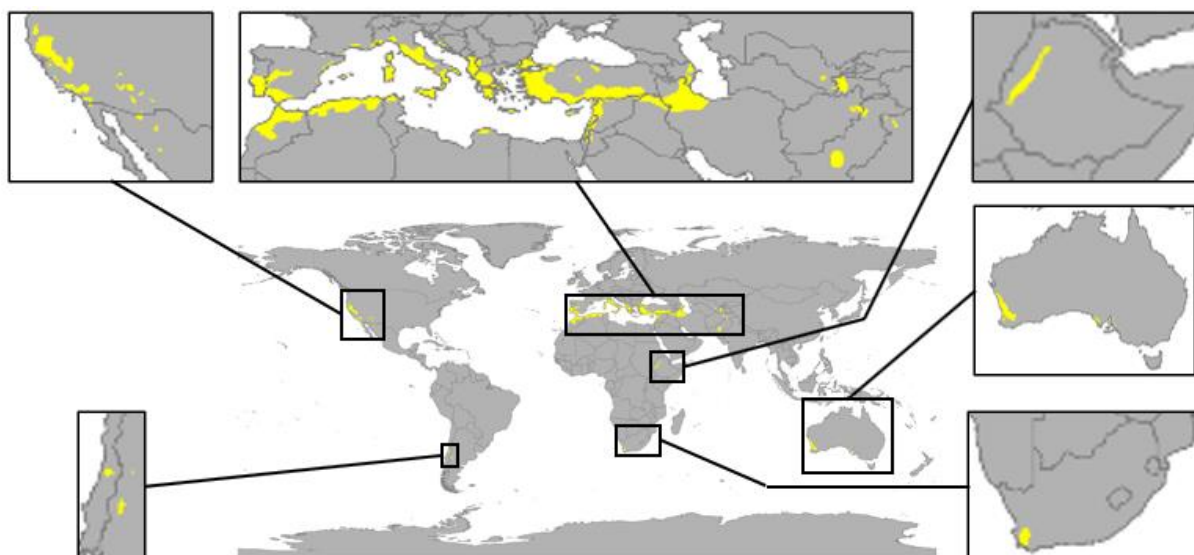


Figura 3.2: Clima mediterrânico de verão quente (Csa) (Peel, Finlayson & McMahon, 2011).

Assim, foram registadas todas as medidas em urbanizações com o clima Csa, assim como de outras zonas urbanas que sejam do mesmo país (Figura 3.3). Foram excluídas as áreas dos Estados Unidos que não fossem de clima Csa devido à pouca dimensão representativa do mesmo no território norte-americano.

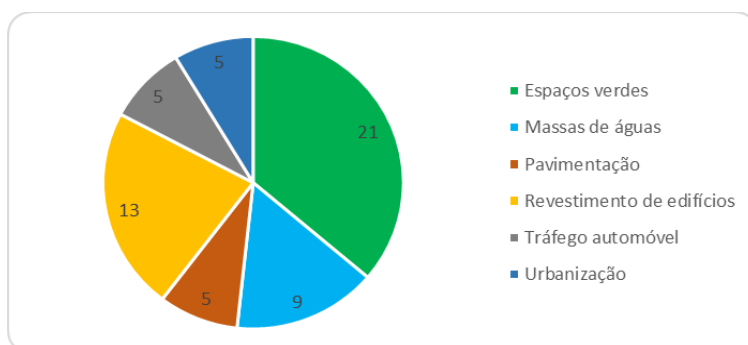


Figura 3.3: Número de medidas analisadas, por categoria, para países com urbanizações em clima Csa e arredores.

É aparente a tendência de que os espaços verdes, as massas de água e o revestimento de edifícios são o tipo de medidas mais empregues ou estudadas para as cidades com tipo de clima Csa ou próximas. Os espaços verdes são reportados tanto em estudos teóricos, numéricos, experimentais ou aplicações reais. Já medidas como massas de água e tráfego automóvel são geralmente aplicações, enquanto que pavimentação e revestimento de edifícios são mais comuns em estudos (Figura 3.4).

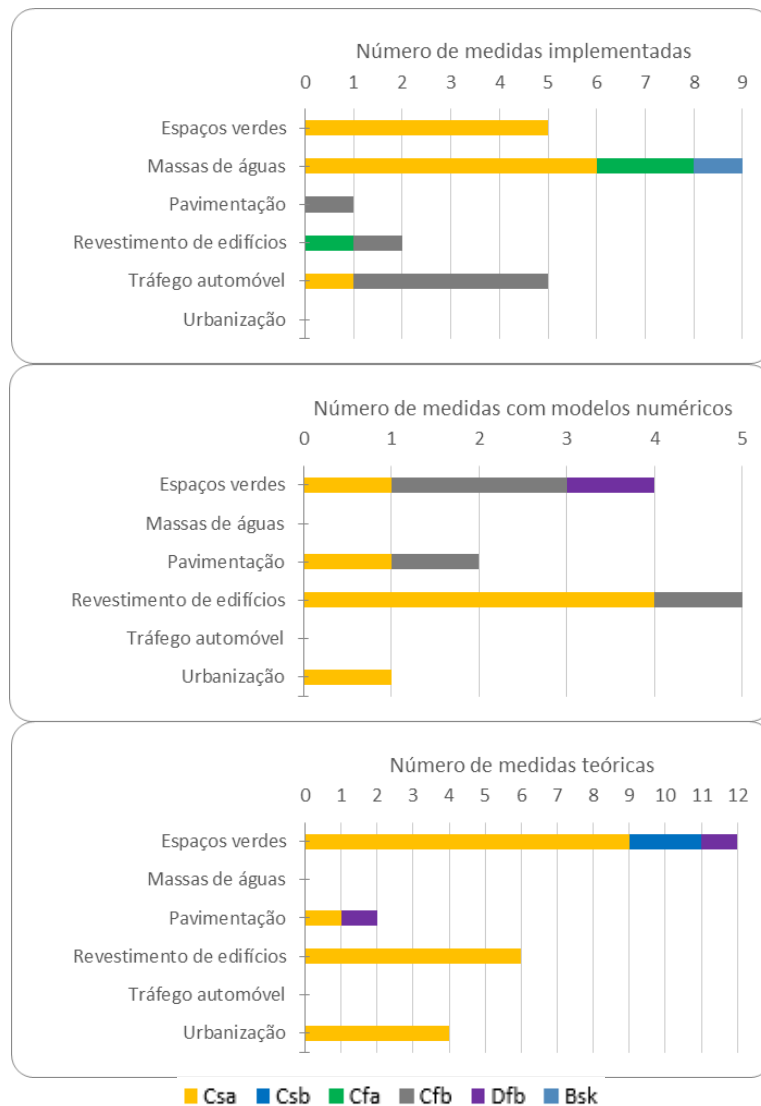


Figura 3.4: Número de medidas analisadas, por categoria, para países com urbanizações em clima Csa e regiões próximas, divididas entre implementadas, numéricas/experimentais e teóricas (de cima para baixo).

Quanto aos estudos de implementação encontraram-se medidas associadas aos espaços verdes, massas de água e tráfego automóvel, sendo estas as medidas mais facilmente implementáveis e de maior benefício face ao custo associado. No que toca aos estudos numéricos, o revestimento de edifícios e os espaços verdes foram as categorias de medidas de mitigação mais analisadas. Por fim, para as medidas que foram estudadas de forma teórica, o destaque vai para os espaços verdes pelo já referido anteriormente. De realçar que também aparecem algumas medidas de urbanização, no entanto estas apenas são aplicáveis apenas a novas construções.

A Tabela 3.1 apresenta alguns dos custos e dos benefícios das medidas aplicadas para as cidades com o clima semelhante ao de Lisboa.

Tabela 3.1: Custo/Benefício das medidas em cidades com clima Csa e urbanizações próximas.

<b>Categoria</b>	<b>Medida</b>	<b>Cidade</b>	<b>Custo [C] / Benefício [B]</b>
Espaços verdes	Parques urbanos	Atenas <sup>GR 1</sup> Lisboa <sup>PT 2 3 4</sup> Madrid <sup>ES 5</sup> Paris* <sup>FR 6</sup> Porto* <sup>PT 4</sup> Tel Aviv <sup>IS 4</sup>	[B] Arrefecimento do ar [B] Aumento do conforto térmico [B] Diminuição da poluição do ar e GEE [C] Máximo potencial a partir de uma certa velocidade de vento
	Vegetação	Barcelona <sup>ES 7 8</sup> Erzurum* <sup>TR 9</sup> Esmirna <sup>TR 10</sup> Lisboa <sup>PT 2 4 11</sup> Los Angeles <sup>US 12</sup> Paris* <sup>FR 6</sup> Porto* <sup>PT 4</sup> Sacramento <sup>US 13</sup> Sevilha <sup>ES 14</sup> Tel Aviv <sup>IS 4</sup>	[B] Arrefecimento do ar (por evapotranspiração) [B] Arrefecimento das superfícies que sombreiam [B] Diminuição da poluição do ar e GEE [C] Consumo de água
Massas de água	Arrefecimento evaporativo	Ancora* <sup>IT 15 16</sup> Elazığ <sup>TR 17</sup> Mitspe Ramon* <sup>IS 18</sup> Roma <sup>IT 15 16</sup>	[B] Arrefecimento do ar [B] Aumento da humidade do ar [C] Consumo de água [C] Consumo de energia
	Lagos	Tel Aviv <sup>IS 19</sup>	[B] Arrefecimento do ar (por evaporação) se a temperatura do ar for superior à da água [B] Aumento da humidade do ar [C] Não construção de edifícios a criar efeito barreira ao vento [C] Aquecimento do ar, se a temperatura do ar for inferior à da água
	Mares	Funchal <sup>PT 20</sup>	
	Rios	Barcelona <sup>ES 21</sup>	
Pavimentação	Piso molhado	Paris* <sup>FR 6 22</sup>	[B] Arrefecimento do pavimento [B] Emissão de menor radiação para a atmosfera [C] Consumo de água [C] Custo associado à infraestrutura (ex: trabalhadores, veículos)
	Maior albedo	Esminir <sup>TR 10</sup> Los Angeles <sup>US 12</sup> Roma <sup>IT 23</sup>	[B] Menor absorção de raios solares [B] Menor emissão de calor durante a noite [C] Custo poderá ser mais elevado (relativamente ao inicial)

<b>Categoria</b>	<b>Medida</b>	<b>Cidade (País)</b>	<b>Custo [C] / Benefício [B]</b>
Revestimento de edifícios	Fachadas com maior albedo	Lisboa <sup>PT 2</sup> Roma <sup>IT 23</sup>	[B] Menor absorção de raios solares [B] Diminuição do uso do ar condicionado
	Telhados com maior albedo	Lisboa <sup>PT 2 11</sup> Los Angeles <sup>US 12</sup> Madrid <sup>ES 24</sup> Sacramento <sup>US 13</sup>	[B] Arrefecimento do ar interior e exterior [B] Menor emissão de calor durante a noite [C] Custo poderá ser mais elevado
	Fachadas verdes	Lyon* <sup>FR 25</sup>	[B] Arrefecimento do ar (por evapotranspiração)
	Telhados verdes	Bolonha* <sup>IT 26</sup> Constantina <sup>DZ 27</sup> Lisboa <sup>PT 11 28</sup>	[B] Arrefecimento das superfícies que sombreiam [B] Diminuição do uso do ar condicionado [B] Arrefecimento do ar interior e exterior [B] Diminuição da poluição do ar e GEE [B] Aumento da humidade
	Painéis solares	Paris* <sup>FR 29</sup>	[B] Produção de energia elétrica [B] Sombreamento dos edifícios [B/C] Arrefecimento ou aquecimento do edifício (dependendo da posição do Sol)
Tráfego automóvel	Incentivos a alternativas	Grenoble* <sup>FR 25</sup> Nantes* <sup>FR 25</sup> Nice <sup>FR 25</sup> Paris* <sup>FR 25</sup>	[B] Trânsito menos intenso [B] Menor poluição do ar [B] Menos emissões GEE [B] Menos calor libertado para a atmosfera [C] Pagamento de incentivos por parte do Estado [C] Construção de ciclovias
Urbanização (novos projetos)	Geometria	Lisboa <sup>PT 2 11</sup> Tunis <sup>TN 30</sup>	[C] Relação H/W < 1, no caso de Lisboa [C] Redução da velocidade do vento e mudança da sua direção
	Orientação	Lisboa <sup>PT 2 11</sup>	[B] Circulação de ar [C] Orientação para N-S, em Lisboa
<p>* Urbanização próxima a uma região com clima Csa</p> <p>DZ Argélia; ES Espanha; FR França; GR Grécia; IS Israel; IT Itália; PT Portugal; TN Tunísia; TR Turquia; US Estados Unidos</p> <p><sup>1</sup> Skoulika, Santamouris, Kolokotsa &amp; Boemi, 2014; <sup>2</sup> Alcoforado, Lopes, Andrade &amp; Vasconcelos, 2005;  <sup>3</sup> Oliveira, Andrade &amp; Vaz, 2011; <sup>4</sup> Saaroni, Amorim, Hiemstra &amp; Pearlmutter, 2018;  <sup>5</sup> Aram, Solgi, Higuera Garcia, Mosavi &amp; R. Varkonyi-Koczy, 2019; <sup>6</sup> Daniel, Lemonsu &amp; Viguié, 2018;  <sup>7</sup> Lobaccaro, Massimo, Wyckmans &amp; Palazzo, 2014; <sup>8</sup> Arellano &amp; Roca, 2018; <sup>9</sup> Yilmaz, Mutlu &amp; Yilmaz, 2018;  <sup>10</sup> Turhan &amp; Akkurt, 2018; <sup>11</sup> Lopes, 2006; <sup>12</sup> Rosenfeld, Akbari, Romm &amp; Pomerantz, 1998;  <sup>13</sup> Gorsevski, Taha, Quattrochi &amp; Luvall, 1998; <sup>14</sup> Farina, 2012; <sup>15</sup> Ulpiani et al., 2019b;  <sup>16</sup> Ulpiani, Di Giuseppe, Di Perna, D'Orazio &amp; Zinzi, 2019a; <sup>17</sup> Esen &amp; Tuna, 2015;  <sup>18</sup> Pearlmutter, Erell, Etzion, Meir &amp; Di, 1996; <sup>19</sup> Saaroni &amp; Ziv, 2003; <sup>20</sup> Lopes et al, 2011; <sup>21</sup> Forssmann, 2017;  <sup>22</sup> Hendel, Colombert, Diab &amp; Royon, 2015; <sup>23</sup> Castaldo et al., 2017; <sup>24</sup> Salamanca, Martilli &amp; Yagüe, 2011;  <sup>25</sup> Giguère, 2012; <sup>26</sup> Cipolla, Maglionico, Semprini, Villani &amp; Bonoli, 2018; <sup>27</sup> Sahnoune &amp; Benhassine, 2017;  <sup>28</sup> Ferreira, Gonçalves, Silva, Silva &amp; Santos, 2018; <sup>29</sup> Masson, Bonhomme, Salagnac, Briottet &amp; Lemonsu, 2014;  <sup>30</sup> Achour-Younsi &amp; Kharrat, 2016</p>			

Abordado o tema da revisão da literatura, são debatidos os métodos da realização do estudo da mitigação da ICU das áreas sob análise.

## 4 Métodos

Neste capítulo abordam-se os métodos empregues na modelação do microclima nas áreas em estudo. Foi utilizado o *software* ENVI-met para a simulação dos parâmetros microclimáticos de interesse, nomeadamente as temperaturas da superfície, do ar e, sobretudo, a temperatura fisiológica equivalente (PET). São também discutidas as características das áreas de estudo em termos dos materiais de construção e simplificações necessárias ao modelo e o método de seleção dos dias típicos de verão e de inverno e de um dia extremo de verão. Na última secção, são descritos os elementos utilizados nos modelos de simulação incluindo as medidas de mitigação/adaptação às ICU seleccionadas.

Devido à extensa metodologia aplicada na secção 4.3 e a ligação direta existente com a 4.4, foi realizado um esquema síntese relativo a essas mesmas secções, que se encontra na secção **Erro! A origem da referência não foi encontrada..** No final, é abordado o estudo relativo ao potencial de captura de CO<sub>2</sub> por parte das árvores na atualidade.

### 4.1 ENVI-met

A natureza destes estudos envolve fenómenos complexos do ambiente externo tais como parâmetros climáticos, vegetação, superfícies e estruturas, as quais constituem uma relação de interdependência entre si. Assim, estes elementos não podem ser analisados de forma isolada ou independentes uns dos outros. Foi, por isso, crucial o uso de um *software* que integra todos estes elementos num só sistema.

O *software* ENVI-met (ENVI-met, 2001), amplamente utilizado em estudos de clima urbano e planeamento em todo o mundo, cujos modelos se baseiam nos fundamentos da termodinâmica e mecânica de fluidos, é a ferramenta proposta para a realização do estudo. É um modelo de simulação holístico, tridimensional e não-hidrostático, capaz de captar as interações entre edifícios, superfícies e plantas de forma detalhada. Permite trabalhar numa resolução espacial entre 0,5 e 10 m, num horizonte temporal de 24 a 48 h.

Os principais modelos de cálculo incluem:

- Fluxos de radiação de curto e longo comprimento de onda, incluindo fenómenos de sombreamento, reflexão e emissão térmica;
- Transpiração, evaporação e fluxo de calor sensível da vegetação para o ar e taxa de fotossíntese;
- Cálculo dinâmico das temperaturas nas superfícies de telhados e fachadas;
- Trocas de água e calor no sistema dos solos, tendo em conta a absorção pela vegetação;
- Representação 3D da vegetação com modelação dinâmica do seu balanço de água de acordo com espécies diferentes;
- Dispersão de gases e partículas, a sua sedimentação e deposição nas folhas e superfícies, dispersão de gases inertes e reativos da cadeia de reação NO-NO<sub>2</sub>-Ozono;
- Determinação de índices biometeorológicos, como a PET.

Além das capacidades enumeradas, outra das vantagens do ENVI-met para o trabalho a desenvolver é o modelo de parede com 3 camadas (7 nodos de cálculo) recentemente implementado, que possibilita a inclusão das características dos revestimentos dos edifícios de forma mais fidedigna. Este aspeto é crucial para o estudo do impacto da colocação de painéis solares ou cobertura vegetal nos telhados e/ou fachadas dos edifícios nas áreas de estudo (ENVI-met, 2019-a).

De forma a corroborar a escolha deste software, foi realizada uma pesquisa para verificar qual o software de simulação de microclima mais recomendável pela comunidade científica. Foi verificado, através de opiniões de 2018 e 2019, que esta aponta para o ENVI-met (Abderrahim, Lafifi, Ibrahim & Samad, 2018-2019; Cunha, Luca & Mirabi, 2018-2019).

Um estudo realizado em Pavlos Melas, Salónica (Grécia) verificou a precisão do ENVI-met Pro e do Rayman Pro (uma alternativa ao ENVI-met) no cálculo da temperatura do ar 1,80 m comparativamente a medições reais realizadas. Os resultados obtidos não tiveram uma grande discrepância face aos valores de medição reais, para o caso do ENVI-met (Skoufali & Battisti, 2019).







Um estudo foi realizado à versão 3.1 do ENVI-met, no qual foi comparado com o *software* Project Vasari, descontinuado a 31 de maio de 2015 (Excitech, 2015), e IES VE-Pro. Em termos de avaliação dos recursos, o ENVI-met recebeu uma avaliação ponderada bem acima dos concorrentes, sendo esta de 69%, mais 14% face ao IES VE-Pro e 16% do Project Vasari. No entanto, em termos de utilização da aplicação, o ENVI-met perde bastante terreno, com apenas 54% de apreciação contra 85% do Project Vasari e 63% do IES VE-Pro (Vidmar, 2013). Sendo que se deu uma maior importância à avaliação de recursos que à usabilidade, concluiu-se que o ENVI-met atende muito melhor aos requisitos necessários que os restantes *softwares*.

A versão atual do ENVI-met (4.4.4) conta com muitas melhorias face à que foi analisada no estudo anteriormente referido, tanto ao nível de recursos como de usabilidade. Um exemplo ao nível de recursos é a presença da evapotranspiração, que não existia na versão 3.1 (ENVI-met, 2019-b; Vidmar, 2013). Também foi criado um novo módulo de fachadas verdes e o sistema de *full forcing*, fazendo com que as condições climáticas sejam forçadas para valores determinados, obtendo-se resultados de simulação do microclima mais próximos da realidade. Como forma a ser possível o uso dos dados simulados numa ferramenta de visualização tridimensional, estes poderão ser convertidos em formato NetCDF. Para os utilizadores do CAD Rhinoceros3D foi criada uma ferramenta para o Grasshopper (um plugin existente no *software* referido) que possibilita a importação de modelos diretamente para o ambiente ENVI-met (ENVI-met, 2018). Estas melhorias contribuiriam para uma melhor classificação e apreciação por parte dos utilizadores.

Através das análises descritas, seguiu-se a sugestão da comunidade científica, optando-se pelo uso do *software* ENVI-met, como forma a simular a ICU das áreas que foram estudadas.

A versão 4.4.4 do ENVI-met apresenta várias características para o cálculo do microclima, resumidas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características do ENVI-met (ENVI-met, 2019-b).

 <b>Análise solar</b>	→ Horas de sol e de sombra → Análise de vidros → Moldagem da sombra → Ganho de energia solar
 <b>Dispersão de poluentes do ar</b>	→ Emissão e transporte de partículas e gases → Reações químicas entre NO <sub>x</sub> , ozono e (B)VOC → Inclusão de deposição de plantas e superfícies → Ferramentas integradas para o cálculo dos perfis de emissão do tráfego automóvel
 <b>Física dos edifícios</b>	→ Temperaturas das fachadas → Processos de troca com paredes vegetativas → Interação entre o microclima exterior e o interior → Balanço energético e de água nos sistemas de paredes vivas
 <b>Tecnologias verde e azul</b>	→ Benefícios do coberto verde em fachadas e telhados → Impacto dos espaços verdes e de massas de água → Simulação de paredes vivas → Arrefecimento do ar através de <i>spray</i> de água
 <b>Fluxo de vento</b>	→ Padrões de vento em ambientes complexos → Velocidade do vento ao redor de edifícios e de árvores → Conforto do vento
 <b>Conforto térmico do exterior</b>	→ Temperatura do ar → Temperatura radiante das superfícies circundantes → Movimento do ar nas proximidades do corpo → Humidade relativa

Relativamente a métodos tradicionais e a *software* semelhante, o ENVI-met apresenta como principal vantagem a grande quantidade de parâmetros que simula (conforme verificado na tabela anterior), o qual leva a que os resultados sejam mais precisos. As desvantagens centram-se principalmente no elevado tempo de simulação e no facto de não ser possível criar ruas oblíquas no modelo nem entrar num grande detalhe devido à resolução mínima de 0.5x0.5 m<sup>2</sup> por célula, e altura dos edifícios de 1 m, já as árvores em 3D têm uma resolução mínima de 1x1x1 m<sup>3</sup>.



## 4.2 Descrição das áreas de estudo

Foram analisadas duas áreas pertencentes ao concelho de Lisboa. A zona A situa-se na Alta de Lisboa (Figura 4.1-a) e a zona B em Entrecampos (Figura 4.1-b).

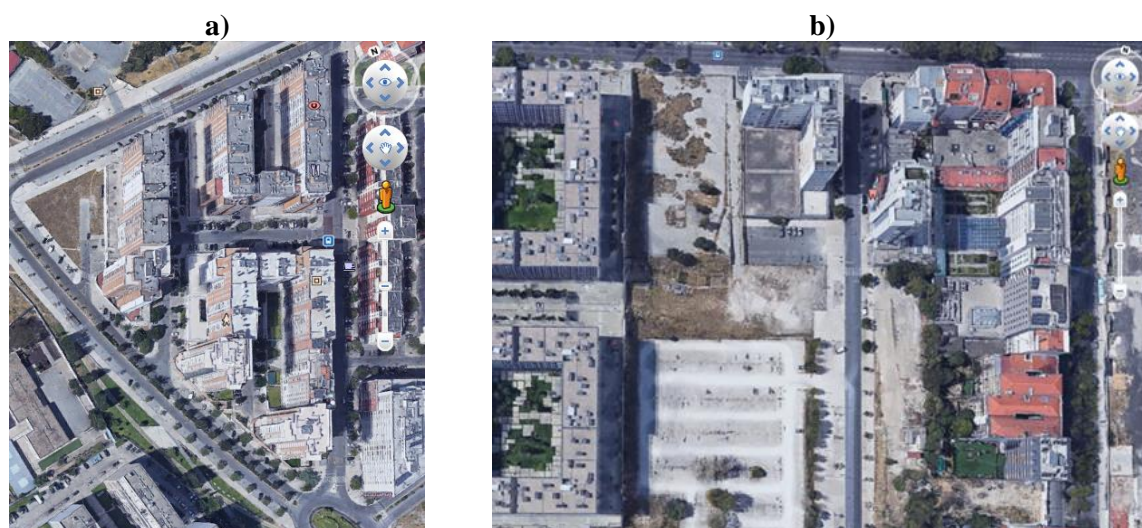


Figura 4.1: Vista aérea das áreas urbanas estudadas: a) Zona A, na Alta de Lisboa [38.773463, -9.154156], e b) Zona B, em Entrecampos [38.7465803, -9.1516167] (Google, 2019).

Na Tabela 4.2 encontram-se algumas informações sobre ambas as áreas de estudo.

Tabela 4.2: Características relevantes acerca das áreas em estudo.

	<b>Zona A</b>	<b>Zona B</b>
<b>Período de construção</b>	2001-2005	1949-1960 (mais antigos) 2006-2011 (mais recentes)
<b>Tráfego automóvel</b>	Médio (vias principais) Baixo (arruamentos)	Elevado
<b>Tipo de uso</b>	Zona residencial	Zona residencial e comércio/serviços
<b>Características para probabilidade de ICU</b>	Geometria urbana Albedo das estradas	Geometria urbana Tráfego automóvel Albedo das estradas e dos edifícios

Devido à presente transição automóvel cada vez mais evidente da combustão fóssil à energia elétrica, foram consideradas nas presentes simulações uma mobilidade totalmente elétrica, sendo, por isso, os veículos negligenciados da análise referente aos estudos do conforto térmico da população. Este facto deve-se a este se constituir um passo importante para a atenuação das emissões de GEE, providenciando melhores condições de saúde a toda a população através da ausência de nevoeiros fotoquímicos que incrementam uma redução da qualidade do ar, no entanto não existe um consenso relativamente à diferença de calor gerado entre os veículos elétricos e os convencionais. Se a transição energética existente no setor automóvel fosse tida em conta, esta levaria a resultados alheios àqueles propostos no objetivo do estudo, tornando-os inconclusivos.

### 4.3 Dados meteorológicos

Para a avaliação do efeito ICU nos casos de estudo foram escolhidos dias considerados como sendo de calor extremo, típico de verão e típico de inverno. Esta seleção é explicada nas subsecções seguintes.

Inicialmente, analisam-se medições reais (série experimental) obtidas em duas estações meteorológicas de Lisboa, tendo-se escolhido uma delas. Devido à ausência de determinadas componentes climáticas, essenciais ao forçamento, numa das áreas e de ser necessária a projeção do clima para 2100, foi necessário recorrer a uma série sintética do ano meteorológico típico. Para tal, foi utilizado o *software* Meteonorm, que consiste numa base de dados meteorológicos usada para estimar vários parâmetros ao nível do clima para uma determinada localização e período temporal (Meteonorm, 2001).

De forma a seleccionar um horizonte de 24 h mais próximo do registo experimental para o clima recente, procede-se ao cálculo dos erros existentes com todos os dias da série sintética e comparados quatro parâmetros: temperatura do ar, humidade relativa, radiação global e velocidade do vento, como forma a verificar a persistência dos dias encontrados.

#### 4.3.1 Série experimental

Dados com as medições reais que foram efetuadas nas estações meteorológicas do Aeroporto Humberto Delgado e dos Restauradores para os dias típicos de verão e de inverno, bem como um dia característico de extremo de verão, foram providenciados pelo Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT). As séries de dados horários relativas aos Restauradores (rede IGOT) e ao Aeroporto Humberto Delgado (rede NCDC), para um período de três dias centrado nos dias escolhidos, encontram-se apresentadas na Figura 4.2.

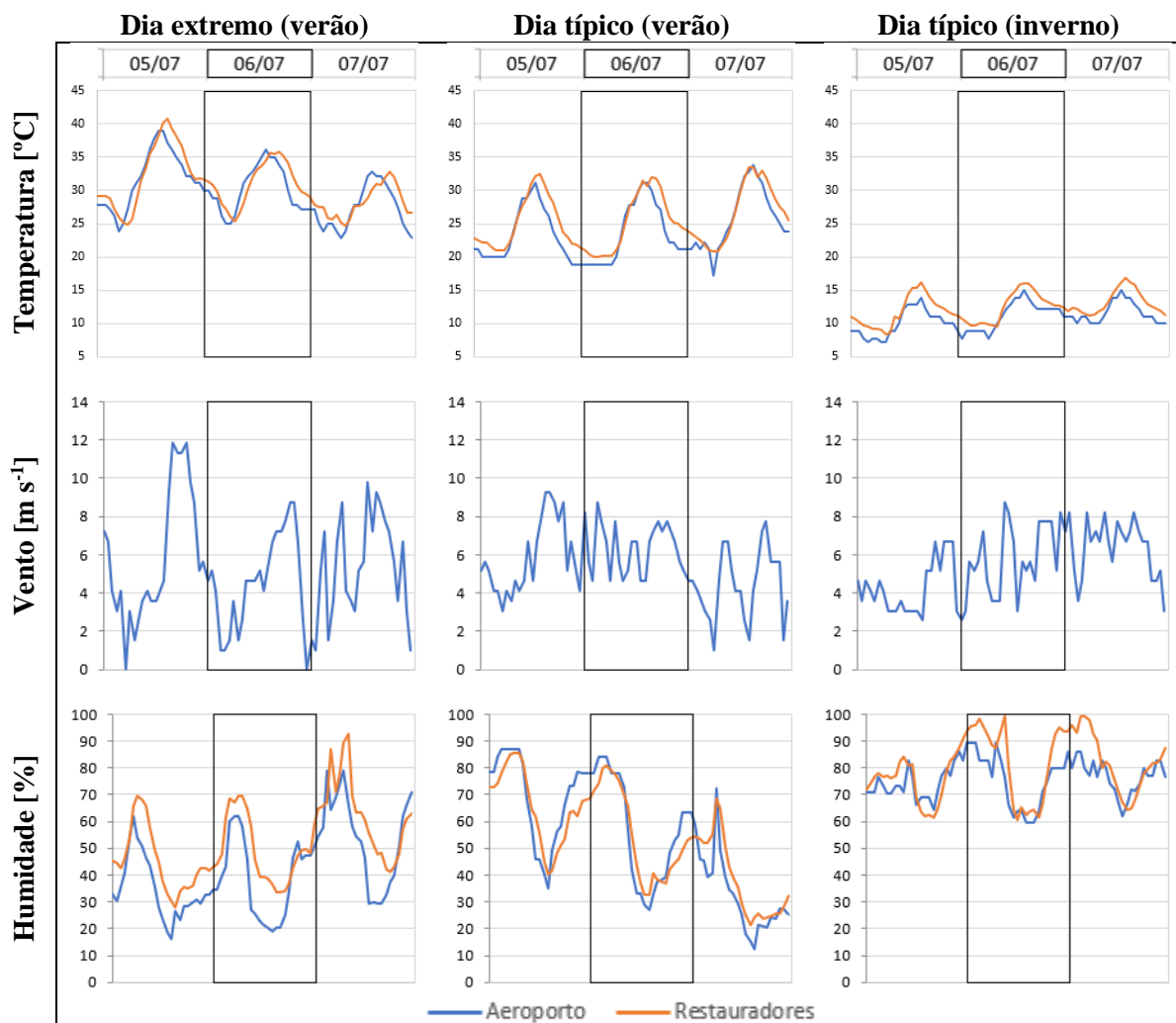


Figura 4.2: Condições medianas reais aproximadas, vento no quadrante N-O, para um período de 3 dias centrado nos dias extremo de verão (à esquerda), verão típico (no centro) e inverno típico (à direita).

As datas escolhidas reportam aos modelos de mesoescala, e tiveram em conta não só a representatividade das condições meteorológicas da série utilizada, nos percentis 50 e 95, como também a disponibilidade de imagens de satélite que foram usadas nos respetivos modelos. Foi considerada a série experimental relativa à estação do Aeroporto para ambas as áreas de estudo, devido à presença próxima do Rio Tejo nos Restauradores, algo que não acontece nem no Aeroporto, nem nas zonas analisadas.

No entanto, conforme referido anteriormente, estes registos não contavam com alguns parâmetros relevantes para um completo forçamento das condições fronteira nas simulações em ENVI-met, nomeadamente as diferentes componentes da radiação solar, não sendo correta a sua utilização diretamente no *software*. Assim, foi necessário analisar qual o período da série sintética com as condições de temperatura e de velocidade de vento mais aproximadas a cada um dos dias experimentais obtidos, relativos à estação meteorológica do Aeroporto Humberto Delgado.

#### 4.3.2 Série sintética (clima recente)

De forma a colmatar a ausência de variáveis essenciais ao completo e correto forçamento das condições meteorológicas nas simulações, foi utilizado o *software* Meteonorm (Meteonorm, 2019) para extrair uma série de referência do clima recente no formato EnergyPlus (.epw), para o período de 1991 a 2010. Considerou-se uma altitude média entre as áreas de estudo e a estação meteorológica de 102 m (topographic-map.com, 2002) na extração dos dados.

A partir do cálculo de erros entre as duas séries, selecionaram-se os dias sintéticos mais semelhantes possíveis aos registos experimentais nas variáveis temperatura e velocidade do vento. O erro absoluto médio (MAE) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE), foram estimados segundo as equações (4.1) e (4.2).

$$MAE = \frac{1}{24} \sum_{j=0}^{24-1} |y_j - \hat{y}_j| \quad (4.1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{j=0}^{24-1} (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad (4.2)$$

Sendo 24 o número de horas num dia,  $y_j$  a hora  $j$  da variável  $y$  (temperatura ou velocidade do vento) do dia em análise da série extraída do Meteonorm e  $\hat{y}_j$  o mesmo referente à série experimental.

Foram impostas restrições na seleção dos dias sintéticos mais aproximados aos experimentais e que correspondessem ao tipo de dia de interesse. Estas foram encontrar, no máximo, quatro dias cujos erros calculados previamente fossem os menores possíveis. Após várias tentativas efetuadas, a cada cinco décimas, descobriu-se que os erros dos dias sintéticos candidatos tendo como base os da série experimental não poderiam ultrapassar os valores registados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Erros máximos dos dias sintéticos candidatos face aos dias experimentais, por tipo de dia.

		Verão		Inverno
		Extremo	Típico	Típico
Temperatura [°C]	MAE	3,0	2,0	1,5
	RMSE	4,0	2,5	2,0
Velocidade do vento [m s <sup>-1</sup> ]	MAE	3,0	2,0	2,5
	RMSE	4,0	2,5	2,5

As 24 h que melhor cumprem os critérios de seleção, assim como os respetivos erros, encontram-se apresentados na Tabela 4.4. Apresentam-se também os erros considerando 48 h, uma vez que as 24 h anteriores ao dia de análise são importantes para o *spin-up* do modelo.

Tabela 4.4: Dias sintéticos candidatos e respectivos erros (assinalados os mais baixos).

Dia extremo (verão)			19/06	22/07	19/08
Próprio dia	Temperatura [°C]	MAE	2,52	2,11	1,37
		RMSE	3,30	2,41	1,87
	Velocidade do vento [m s <sup>-1</sup> ]	MAE	2,03	2,11	2,28
		RMSE	2,63	3,00	2,90
Próprio dia + Dia anterior	Temperatura [°C]	MAE	6,09	1,97	2,38
		RMSE	7,29	2,52	2,82
	Velocidade do vento [m s <sup>-1</sup> ]	MAE	2,12	3,24	3,43
		RMSE	2,66	4,53	4,37

Dia típico (verão)			02/07	11/08	12/08	28/08
Próprio dia	Temperatura [°C]	MAE	1,64	1,59	1,76	1,74
		RMSE	2,14	2,24	2,09	2,05
	Velocidade do vento [m s <sup>-1</sup> ]	MAE	1,94	1,85	1,39	1,96
		RMSE	2,37	2,26	1,71	2,39
Próprio dia + Dia anterior	Temperatura [°C]	MAE	2,24	2,07	1,73	2,13
		RMSE	2,80	2,53	2,07	2,70
	Velocidade do vento [m s <sup>-1</sup> ]	MAE	2,95	2,11	1,96	1,62
		RMSE	3,72	2,55	2,44	2,06

Dia típico (inverno)			19/01	11/02	12/12	29/12
Próprio dia	Temperatura [°C]	MAE	1,18	0,77	1,07	1,29
		RMSE	1,39	1,00	1,23	1,39
	Velocidade do vento [m s <sup>-1</sup> ]	MAE	1,78	1,81	1,61	1,80
		RMSE	2,18	2,39	2,01	2,35
Próprio dia + Dia anterior	Temperatura [°C]	MAE	1,18	0,70	1,45	1,15
		RMSE	1,40	0,92	1,83	1,33
	Velocidade do vento [m s <sup>-1</sup> ]	MAE	1,90	2,27	1,71	1,85
		RMSE	2,24	2,73	2,13	2,44

Através da comparação realizada na Tabela 4.4 para o caso do **dia extremo de verão** foi possível verificar que o dia 19/06 apresenta o erro mais baixo para a velocidade do vento tanto para 24 horas como para 48, no entanto, no caso da temperatura para as 48 horas, apresenta um valor bastante elevado, levando à sua exclusão. 19/08 apresenta o menor erro associado à temperatura para o próprio dia, com as restantes 3 variáveis a obterem um valor mais elevado face a 22/07. Foi, por isso, escolhido o dia **22/07** para candidato a dia extremo de verão.

Para o **dia típico de verão** foi possível verificar que o dia **12/08** apresenta maiores semelhanças com os dados experimentais para a maioria das variáveis analisadas face aos restantes dias.

No caso do **dia típico de inverno**, averiguou-se que o dia 11/02 da série sintética apresenta menores erros na temperatura face aos dados experimentais, enquanto que 12/12 na velocidade do vento. Para o caso específico do dia típico de inverno, priorizou-se a velocidade do vento face à temperatura, levando à seleção do dia **12/12**.

De seguida, representaram-se graficamente os dias escolhidos e o anterior da série sintética em comparação com os dados experimentais, como forma a verificar se a tendência existente seria semelhante. Estas representações encontram-se na Figura 4.3.

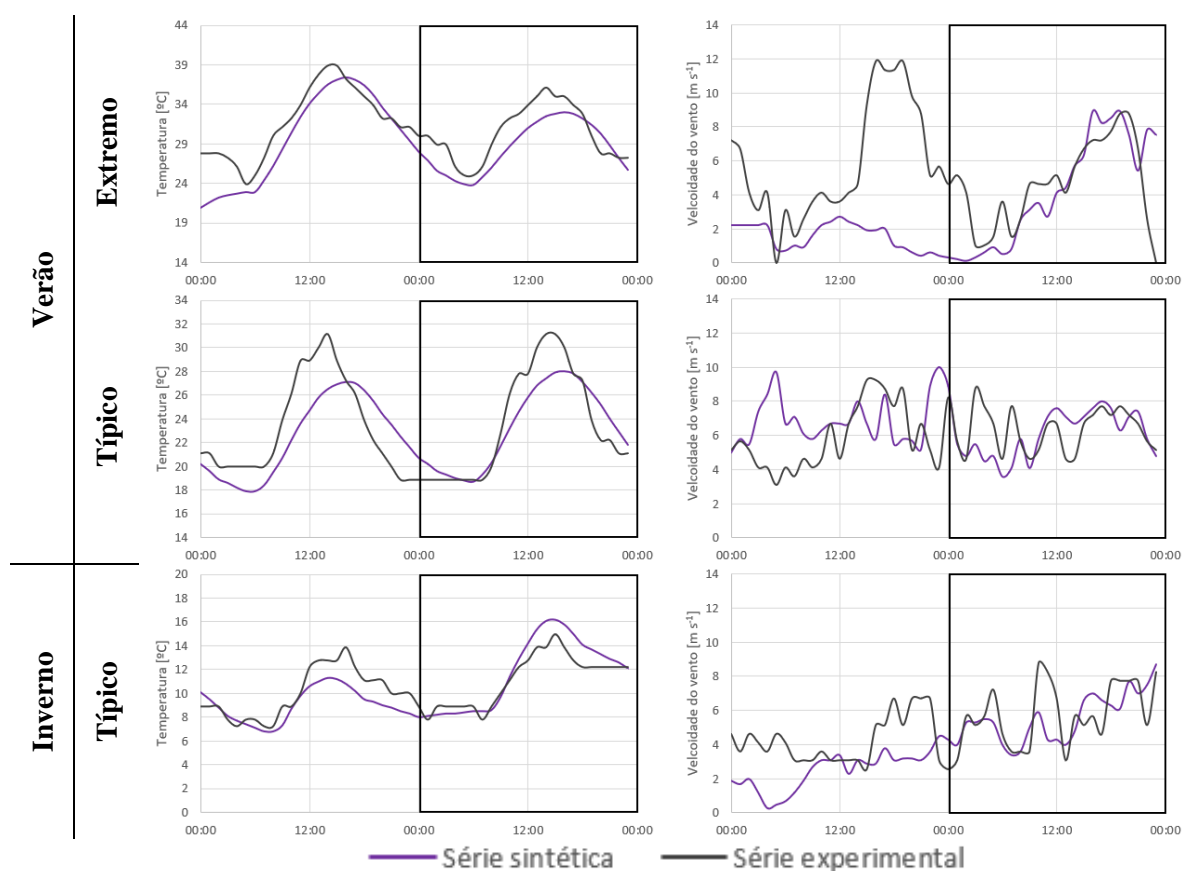


Figura 4.3: Comparação da temperatura e da velocidade do vento entre os resultados sintéticos e experimentais (próprio dia e anterior).

Demonstra-se, assim, que a série sintética apurada e a série experimental para o dia extremo de verão apresentam uma tendência bastante semelhante para o caso da temperatura. Quanto à velocidade do vento, apesar de nas 24 horas anteriores existir uma elevada discrepância, esta é compensada pelo facto de existir uma aproximação de ambas as curvas nas 24 horas do dia em análise.

No dia típico de verão, as diferenças observadas entre ambas as séries são admissíveis, visto que se verifica a tendência da temperatura e da velocidade do vento no dia típico de verão e que os valores examinados têm um grau de discrepância aceitável.

Já para o dia típico de inverno, verificou-se uma semelhança entre a tendência do dia sintético com a do dia experimental, assim como das 24 horas anteriores para a temperatura. Quanto à velocidade do vento, apesar da existência de algumas diferenças tendenciais, os respetivos valores são, geralmente, próximos.

Seguidamente, representaram-se, graficamente, as variáveis referentes à temperatura, à velocidade do vento, à radiação global e à humidade relativa (T,W,I,H) na Figura 4.4 para os dias sintéticos escolhidos.

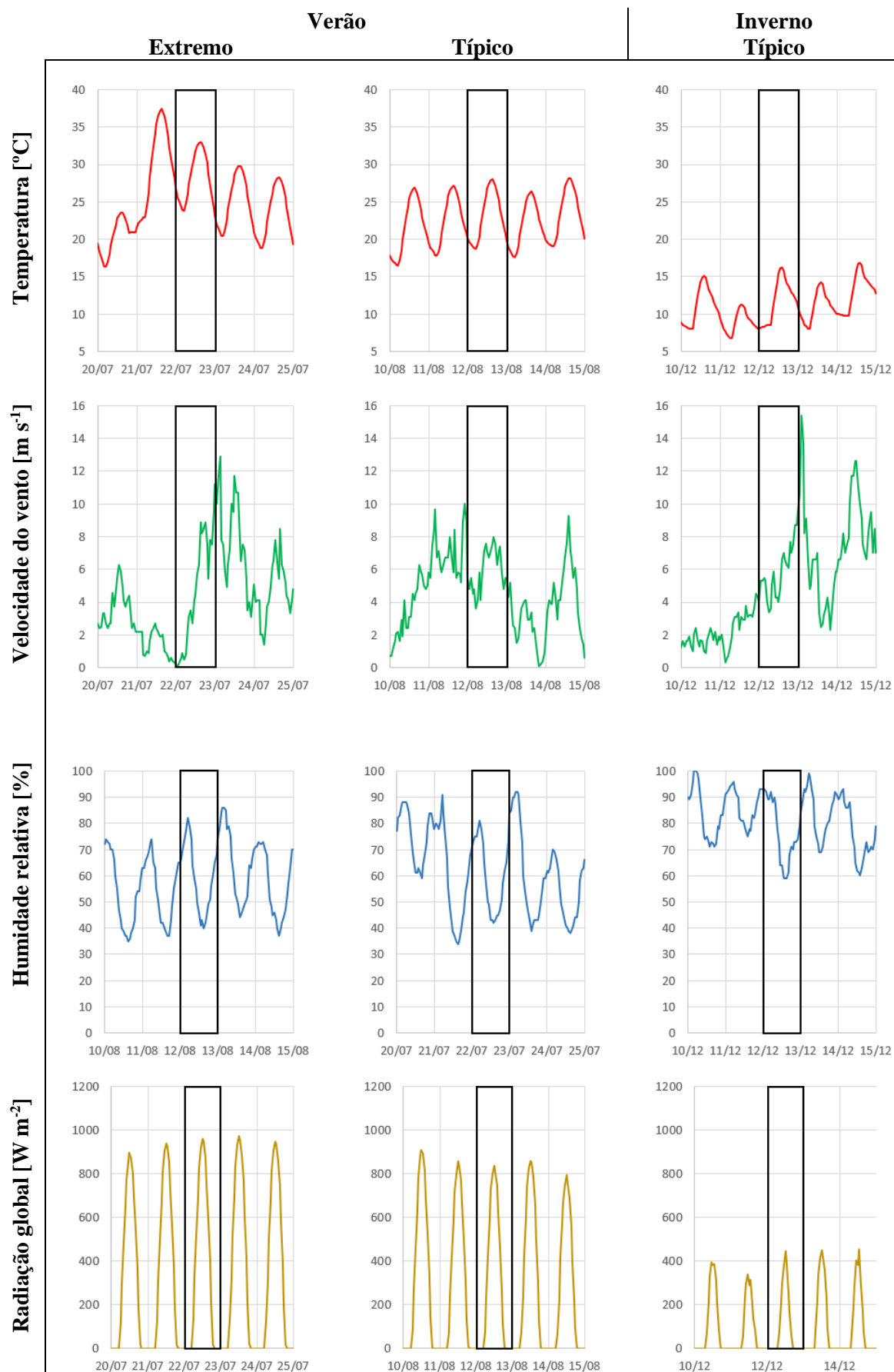


Figura 4.4: Análise da persistência dos dias analisados.

Após analisados os gráficos representados na Figura 4.4, averiguou-se que no **dia extremo de verão** existiu um facto que é de realçar, sendo este que o dia exatamente anterior ao dia escolhido como extremo de verão apresentou tanto uma temperatura do ar mais elevada como uma velocidade de vento mais baixa. Quanto à radiação global, verifica-se que existe persistência em ambos os locais, ao contrário do que ocorre na humidade relativa. Estes factos comprovam a ocorrência de um elevado stress térmico que afetou fortemente a área neste período, concluindo-se que o dia 22/07 seria um dia adequado para ser considerado extremo de verão para as áreas em estudo. De notar que através o sistema de *Full Forcing* utilizado na ferramenta ENVI-met torna possível a realização de simulações de 2 dias com situações meteorológicas diferentes.

Para o **dia típico de verão**, foi possível verificar que houve persistência tanto da temperatura do ar como da radiação global. Quanto à humidade relativa, esta apresenta uma subida do dia anterior para o dia escolhido, enquanto que a velocidade do vento é consistente neste período de 2 dias (exceto no período próximo da transição de dia). Uma vez que a humidade relativa do ar é, das 4 variáveis em estudo, a que se deu menos relevância, concluiu-se que o dia 12/08 se apresentou como sendo viável para ser considerado o típico de verão para as áreas de estudo.

No caso do **dia típico de inverno**, verificou-se que o dia 12/12 apresenta valores muito estáveis para a época em que está inserida, lembrando que o inverno apresenta condições atmosféricas mais instáveis que as do verão. A exceção é feita relativamente à velocidade do vento que sofre um grande aumento no dia exatamente após o dia eleito, não apresentando um grau de importância tão elevado quanto à relativa persistência existente para o dia anterior ao mesmo, exceção feita para o início de 11/12 (sendo um valor bastante baixo) e para o final de 12/12 (onde o vento é mais forte). Postos estes factos, concluiu-se que o dia 12/12 representa um bom dia para ser o típico de inverno.

Como nota, apesar do dia 21/07 ter características mais aceitáveis para ser considerado o dia extremo de verão relativamente ao escolhido, o dia anterior ao mesmo apresenta uma temperatura abaixo da do dia típico que foi selecionado, não sendo viável a realização da análise com o dia especificado.

#### 4.3.3 Série sintética (clima futuro)

Foi, também, recolhida a informação acerca das variáveis climáticas T,W,I,H correspondentes aos climas de verão para o ano de 2100. O *software* Meteonorm apresenta como cenários para o clima futuro: IPCC AR4 B1, IPCC AR4 A1B, IPCC A4R A2, Climate-fit.city RCP 4.5 e Climate-fit.city RCP 8.5 (Meteonorm, 2019).

Os cenários IPCC AR4, fazem parte da IPCC, através de uma iniciativa para o UNEP e para a WMO, a qual prepara relatórios com os impactos e riscos ambientais que as atividades científicas, socioeconómicos e tecnológicas possam provocar, assim como opções para a sua redução (IPCC, 2002). O quarto relatório de avaliação (AR4) foi criado em 2007, sendo que este utiliza como modelo base o SRES (IPCC, 2007), atualmente existindo uma versão mais recente, produzida em 2014, a qual salienta novos resultados face à versão anterior e conta como modelo base o RCP (IPCC, 2014). Atualmente existe uma sexta versão em desenvolvimento, com data prevista de fim de ciclo para 2022 (IPCC, 2020). O *software* Meteonorm não conta com o AR5, mas sim com 3 cenários diferentes do AR4, sendo eles B1, A1B e A2 (Meteonorm, 2019), estando as principais diferenças representadas na Tabela 4.5.



Tabela 4.5: Principais diferenças entre os cenários B1, A1B e A2 do modelo SRES (IPCC, 2000).

<b>Objetivos</b>	<b>B1:</b> Estabilidade económica, social e ambiental <b>A1B:</b> Convergência económica, social e cultural entre regiões <b>A2:</b> Nações autossuficientes e de operação independente
<b>Economia</b>	<b>B1:</b> Crescimento muito rápido, focada em serviços e informações <b>A1B:</b> Crescimento muito rápido <b>A2:</b> Orientada para a região
<b>População</b>	<b>B1:</b> Atinge o pico em meados do século e diminui a partir daí <b>A1B:</b> Igual ao cenário B1 <b>A2:</b> Aumento contínuo
<b>Tecnologias</b>	<b>B1:</b> Implementação de tecnologias mais limpas e eficientes, com a diminuição da utilização de materiais <b>A1B:</b> Rápida implementação de novas tecnologias e mais eficientes ( <i>mix</i> entre fontes fósseis e não-fósseis) <b>A2:</b> Lenta implementação e fragmentada

Quanto aos cenários Climate-fit.city são um projeto realizado pela PUCS, financiado pela União Europeia, no qual pretende-se integrar as práticas das populações nos serviços climáticos urbanos, quantificando as alterações existentes no clima em diversos centros urbanos e propondo soluções para os clientes do serviço (Climate-fit.city, 2017), no qual são utilizados modelos RCP como base. O *software* Meteororm conta com 2 cenários diferentes, o 4.5 e o 8.5 (Meteororm, 2019), sendo a diferença o esforço para a redução das emissões, estando as principais características representadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Principais diferenças entre os cenários 4.5 e 8.5 do modelo RCP (CoastAdapt, 2017).

<b>RCP</b>	<b>4.5</b>	<b>8.5</b>
<b>Esforço para a redução das emissões</b>	Médio-Alto	Baixo
<b>Geração de energia</b>	Renovável	Centrais a carvão
<b>Novas tecnologias de captura de emissões</b>	Não	Não
<b>Transporte</b>	<i>Mix</i> privado (maioria elétricos)	Carros e camiões privados (a combustível fóssil)

Nenhum dos cenários referentes ao Climate-fit.city foi utilizado, uma vez que o período da série é insuficiente para satisfazer o objetivo, além de a cidade de Lisboa não se encontrar, atualmente, enquadrada no respetivo projeto e de cada cidade apresentar dados específicos relativamente ao calor urbano, que diferem entre localizações (Climate-fit.city, 2019). As cidades com clima mais similar a Lisboa abrangidas pelo projeto são Barcelona e Roma que apresentam condições de precipitação muito diferentes das existentes na cidade lisboeta (Climate-Data.org, 2013-a), o que, aliado ao facto de os dados da ICU serem representativos dessas cidades e não de Lisboa, afetaria os resultados do estudo.

Assim sendo, procedeu-se à escolha do cenário A2 do IPCC AR4 para o dia extremo de verão, sendo o cenário mais pessimista possível para um dia de onda de calor, e o A1B para o dia típico de verão, onde apesar da existência de algum esforço para combater as alterações climáticas, não é descartada a hipótese de existência de tecnologias poluentes (como é o caso da combustão fóssil). A situação B1 foi excluída da análise devido a ser um cenário otimista, onde existe uma grande preocupação com os impactos ambientais negativos.

As séries sintéticas do clima futuro foram escolhidas com as mesmas opções das utilizadas para a série sintética do clima recente, à exceção do período, sendo que esta foi escolhida como sendo para 2100, com as opções de cenário já referidas no parágrafo anterior.

As representações gráficas entre os climas atual e futuro sintéticos para ambos os cenários referidos no parágrafo anterior encontram-se representadas na Figura 4.5. **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** Decidiu-se analisar os dois cenários em ambos os dias com o propósito de verificar a diferença em termos climáticos dos mesmos.

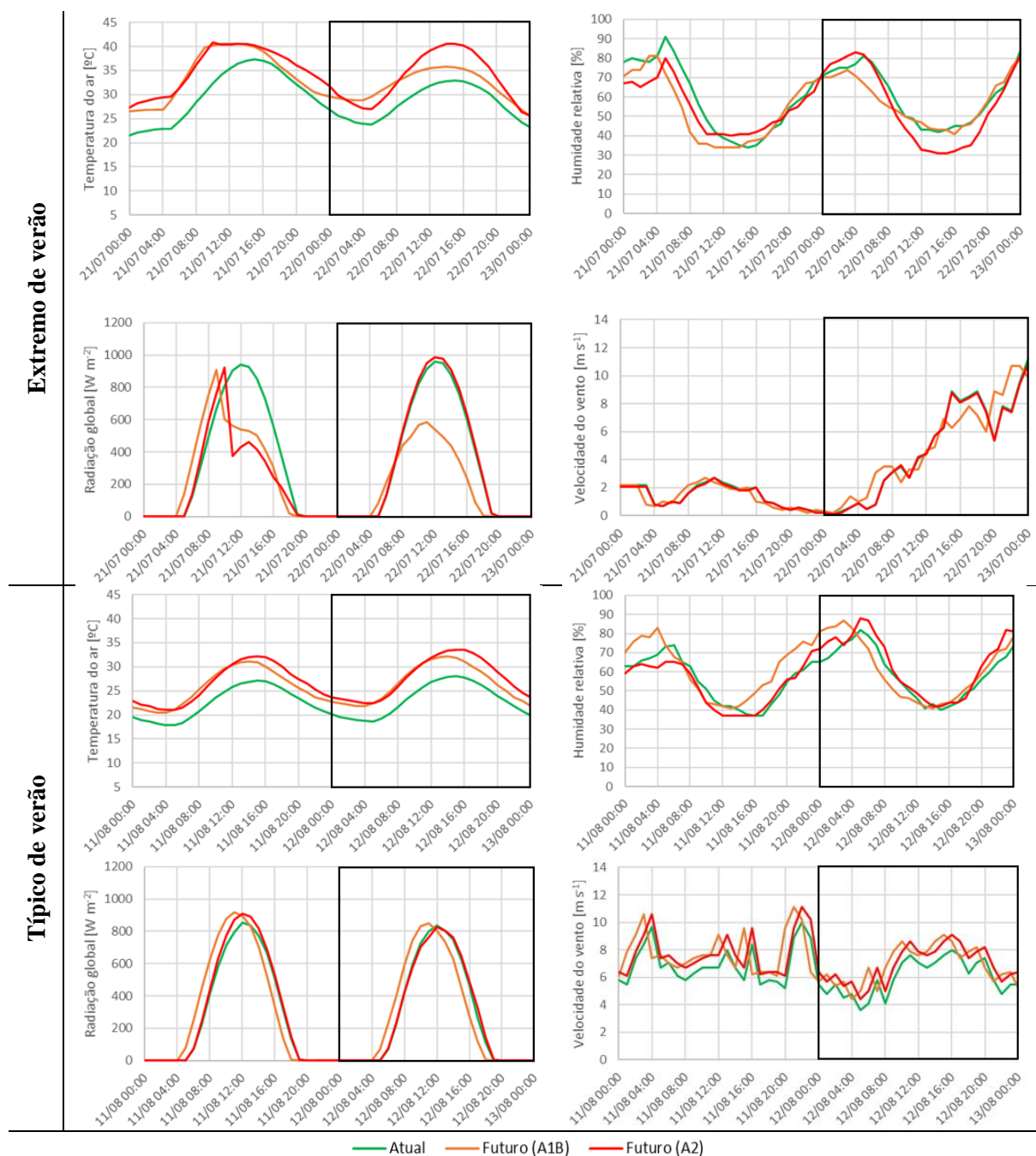


Figura 4.5: Comparação entre os climas recente e futuro para o dia extremo e típico de verão.

Como é possível averiguar através da análise da figura anterior, o cenário A2 apresenta uma maior temperatura face ao A1B, com as restantes variáveis a serem muito próximas, embora exista algum desfasamento temporal entre os mesmos. A radiação global do cenário A1B para o dia de extremo de verão ser baixa poderá dever-se à projeção de este ser um dia nublado para o período que engloba a série sintética até 2100. Os fatores referidos confirmam o facto de o cenário A2 ser o cenário mais pessimista entre todos os existentes no modelo SRES.

Comparativamente ao clima atual, através da análise dos dados adquiridos (Figura 4.5) da utilização do cenário A2 para o dia extremo de verão, verificou-se que, em 2100, projeta-se um aumento médio da temperatura do ar de 5,4 °C e uma diminuição da humidade relativa em 4,6%. As restantes variáveis, radiação global solar e velocidade do vento, contém curvas bastante aproximadas às do clima atual. Para o caso do dia típico de verão e utilizando os dados obtidos com o cenário A1B, apurou-se que em 2100 estima-se um adiantamento das horas de maior calor e de risco à exposição solar em cerca de 1 hora, um aumento médio da temperatura do ar de 3,4 °C, um incremento da humidade média relativa em 1,7% e uma velocidade do vento superior em 0,8 m s<sup>-1</sup>. A radiação solar global, atendendo ao desfazamento temporal existente, projeta-se ser semelhante à atual.

#### 4.4 Seleção de medidas a implementar nos casos de estudo

Na Área Metropolitana de Lisboa, encontram-se já em curso várias medidas de incentivo a alternativas ao transporte privado, como exemplo, a redução dos custos para utilização de transportes públicos, a criação de ciclovias (Área Metropolitana de Lisboa, 2016, 2019) e na compra de carros movidos a eletricidade (Despacho n.º 3169/2020). Devido à incerteza associada à modelação deste tipo de medidas, decidiu-se não considerar qualquer movimentação de carros neste estudo para, deste modo, pôr o foco apenas nos benefícios provenientes da(s) medida(s) escolhida(s), levando a que estes não sejam afetados pela mobilidade.

Para a zona A, devido à existência de propriedade privada e ao reduzido espaço de atuação, não foram tidas em conta medidas presentes na categoria de revestimento de edifícios, nem a criação de um novo projeto de urbanização e, face a não ser uma área costeira nem de ser atravessada por rios, foram ignoradas medidas referentes aos mares e aos rios, assim como as que consistem num elevado consumo de água, com benefício térmico temporário (rega do pavimento e arrefecimento evaporativo). Foram, então, consideradas para análise medidas referentes à criação de lagos e de parques urbanos e ao aumento do albedo da pavimentação existente. No caso da zona B, o objetivo foi analisar o impacto no conforto térmico existente de uma proposta de um novo projeto de urbanização.

#### 4.5 Elementos construtivos e vegetação

Nesta secção são apresentados quais os materiais utilizados nos modelos de simulação representativos das áreas de estudo no que toca às fachadas e aos telhados dos edifícios e na pavimentação e qual a vegetação considerada, bem como descritas as suas características. No final, divulgam-se algumas informações adicionais acerca dos modelos de simulação.

### 4.5.1 Materiais

Como forma a criar os modelos das áreas de estudo no ENVI-met foi necessário proceder à recolha dos materiais existentes. No entanto, devido à escassa informação acerca dos mesmos, muitos dos materiais encontram-se como pressupostos, através de análise realizada por imagens satélites no programa Google Earth e, sempre que possível, da recolha de informações das características específicas dos mesmos.

Os materiais utilizados nas fachadas dos edifícios encontram-se registados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Materiais utilizados nas fachadas dos edifícios e respetivas características.

FACHADAS DE EDIFÍCIOS											
Material		A	T	R	ε	L	c	κ	ρ	Zona A	Zona B
Argamassa		40,0 <sub>1</sub>	0,0**	60,0**	87,0 <sub>1</sub>	2,0**	1046 <sub>3</sub>	1,150 <sup>1</sup>	1900 <sub>4</sub>	✓	✓
Estore branco	Alumínio	20,0 <sub>5</sub>	0,0**	80,0**	50,0 <sub>1</sub>	6,7 <sub>6</sub>	890 <sub>3</sub>	0,800 <sup>7</sup>	2700 <sub>4</sub>		✓
	PVC				93,5 <sub>2 9</sub>	3,9 <sub>8</sub>	900 <sub>10</sub>	0,200 <sup>1</sup>	1300 <sub>1</sub>		✓
Pedra lioz (pintada)	Amarelo torrado	40,0**	0,0**	60,0**	91,5 <sub>2</sub>	5,0**	920 <sub>3</sub>	2,300 <sup>4</sup>	2395 <sub>4</sub>		✓
	Bege	25,0**		75,0**							✓
	Branca	20,0 <sub>1</sub>		80,0**						✓	✓
	Cinzentos claro	32,5 <sub>5</sub>		67,5**						✓	✓
	Cinzentos escuro	50,0 <sub>5</sub>		50,0**							✓
	Rosa	62,0**		38,0**							✓
	Rosa claro	50,0**		50,0**							✓
	Verde	40,0 <sub>1</sub>		60,0**							✓
Porta de alumínio branca		20,0 <sub>1</sub>	0,0**	80,0**	50,0 <sub>1</sub>	7,3 <sub>7</sub>	890 <sub>3</sub>	0,800 <sup>7</sup>	2700 <sub>4</sub>		✓
Tijolo		72,5 <sub>1</sub>	0,0**	27,5**	93,0 <sub>2</sub>	30,0 <sub>11</sub>	1000 <sub>4</sub>	0,357 <sup>11</sup>	625 <sub>11</sub>	✓	✓
Vidro incolor	Simples	10,0 <sub>13</sub>	88,0 <sub>12</sub>	2,0 <sub>13</sub>	93,0 <sub>2</sub>	0,4**	840 <sub>3</sub>	1,000 <sup>4</sup>	2500 <sub>4</sub>		✓
	Duplo	15,0 <sub>13</sub>	78,0 <sub>12</sub>	7,0 <sub>13</sub>		0,8**					✓
Vidro incolor duplo	Ar (300 K)	0,0*	100,0*	0,0*	96,0*	0,9**	1004,9 <sub>14</sub>	0,02624 <sub>14</sub>	1,177 <sub>14</sub>	✓	
	Exterior	3,0 <sub>13</sub>	89,0 <sub>13</sub>	8,0 <sub>13</sub>	93,0 <sub>2</sub>	0,4**	750*	0,960 <sub>15</sub>	2500 <sub>4</sub>		
	Interior					0,6**					
<b>Colunas:</b> A – Absortância [%]; T – Transmitância [%]; R – Refletância [%]; ε – Emissividade [%]; L – Espessura [cm]; c – Calor específico [J kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ]; κ – Condutividade térmica [W m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ]; ρ – Densidade [kg m <sup>-3</sup> ]											
<b>Localização das zonas:</b> A – Alta de Lisboa; B – Entrecampos											
* Valores padrão do ENVI-met; ** Valores considerados											
<sup>1</sup> ABNT, 2003; <sup>2</sup> Engineering ToolBox, 2003a; <sup>3</sup> Sastre, 2000; <sup>4</sup> Santos & Matias, 2006; <sup>5</sup> Engineering ToolBox, 2009;											
<sup>6</sup> Controsol, 2018; <sup>7</sup> Hörmann, 2019; <sup>8</sup> Estores Bandarra, 2017; <sup>9</sup> Ibos et al., 2016;											
<sup>10</sup> Ettah, Egbe, Takim, Uwak & Oyom, 2016; <sup>11</sup> Preceram, 2016; <sup>12</sup> Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013;											
<sup>13</sup> Windows for High-performance Commercial Buildings, 2012; <sup>14</sup> Engineering ToolBox, 2005;											
<sup>15</sup> Engineering ToolBox, 2003b											

Quanto aos telhados, foram aplicados os materiais referidos na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Materiais utilizados nos telhados dos edifícios e respetivas características.

TELHADOS DE EDIFÍCIOS											
Material		A	T	R	ε	L	c	κ	ρ	Zona A	Zona B
Argamassa		40,0 <sub>1</sub>	0,0**	60,0**	87,0 <sub>1</sub>	2,0**	1046 <sub>3</sub>	1,150 <sub>1</sub>	1900 <sub>4</sub>		✓
Asfalto branco (pintado)		20,0 <sub>1</sub>	0,0**	80,0**	90,0**	4,0**	920 <sub>5</sub>	0,810 <sub>5</sub>	2110 <sub>5</sub>	✓	
Betão	(Normal)	50,0* *	0,0* *	50,0* *	90,0* *	18,0* *	850* *	1,600* *	2220* *	✓	
	Armado	60,0 <sub>6</sub>	0,0**	40,0**	85,0 <sub>2</sub>	25,0**	940 <sub>3</sub>	2,300 <sub>4</sub>	2350 <sub>4</sub>	✓	✓
Betonilha		72,5 <sub>1</sub>	0,0**	27,5**	87,0**	3,0 <sub>7</sub>	940**	0,330 <sub>4</sub>	900 <sub>4</sub>		✓
Gesso		50,0* *	0,0* *	50,0* *	90,0* *	1,0* *	850* *	0,600* *	1500* *	✓	
Isolamento	(Normal)	50,0* *	0,0* *	50,0* *	90,0* *	12,0* *	1500* *	0,070* *	400* *	✓	
	Bege	25,0**	0,0**	75,0**	90,0* *	0,5**	1046 <sub>3</sub>	1,300 <sub>4</sub>	1900 <sub>4</sub>		✓
	Branco	20,0 <sub>1</sub>		80,0**							✓
	Cinzento	40,0 <sub>6</sub>		60,0**							✓
	Cinzento escuro	50,0 <sub>5</sub>		50,0**							✓
	Rosa	62,0**		38,0**							✓
Telha cerâmica		77,5 <sub>1</sub>	0,0**	22,5**	93,0 <sub>2</sub>	2,5 <sub>8</sub>	960 <sub>3</sub>	0,690 <sub>4</sub>	1600 <sub>9</sub>		✓
<b>Colunas:</b> A – Absortância [%]; T – Transmitância [%]; R – Refletância [%]; ε – Emissividade [%]; L – Espessura [cm]; c – Calor específico [J kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ]; κ – Condutividade térmica [W m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ]; ρ – Densidade [kg m <sup>-3</sup> ] <b>Localização das zonas:</b> A – Alta de Lisboa; B – Entrecampos * Valores padrão do ENVI-met; ** Valores considerados <sup>1</sup> ABNT, 2003; <sup>2</sup> Engineering ToolBox, 2003a; <sup>3</sup> Sastre, 2000; <sup>4</sup> Santos & Matias, 2006; <sup>5</sup> Mendonça, 2014; <sup>6</sup> Engineering ToolBox, 2009; <sup>7</sup> AFNOR, 2010; <sup>8</sup> Kia Lim Berhad Malaysia, 2006; <sup>9</sup> Luz, 2018											

No caso dos pavimentos, registaram-se os materiais usados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Materiais utilizados nos pavimentos e respetivas características.

PAVIMENTOS									
Material		r	$\alpha$	$\varepsilon$	L	$\kappa$	s	Zona A	Zona B
Argila arenosa		5,0 *	80 *	90,0 *	6 *	0,000 *	1,175 *		✓
Argiloso		1,5 *	0 *	98,0 *	450 *	0,000 *	1,320 *		✓
Asfalto	(Normal)	1,0 *	20 *	90,0 *	30 *	0,900 *	2,251 *	✓	✓
	Branco (pintado)		80 5					Medida 3	
	Claro		40 *						✓
Betão	(Normal)	1,0 *	50 *	90,0 *	4 *	1,630 *	2,083 *		✓
	Claro		80 *						✓
	Escuro		20 *					✓	✓
	Usado/Sujo		30 *						✓
Granito	Empedrado (calçada portuguesa)	1,0 *	40 *	90,0 *	6 *	4,610 *	2,345 *	✓	✓
	Escuro		30 *		2 *				✓
Lago		1,0 **	7 1	97,2 2	200 **	0,606 3	4,182 4	Medidas 1 & 2	
<b>Colunas:</b> r – Comprimento de rugosidade [cm]; $\alpha$ – Albedo [%]; $\varepsilon$ – Emissividade [%]; L – Espessura [cm]; $\kappa$ – Condutividade térmica [W m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup> ]; s – Capacidade de calor volumétrico [MJ m <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup> ] <b>Localização das zonas:</b> A – Alta de Lisboa; B – Entrecampos * Valores padrão do ENVI-met; ** Valores considerados <sup>1</sup> Nunez, Davies & Robinson, 1972; <sup>2</sup> Davies, Robinson & Nunez, 1971; <sup>3</sup> Engineering ToolBox, 2003b; <sup>4</sup> Engineering ToolBox, 2005									

Na subsecção seguinte é abordada uma análise semelhante relativamente à vegetação considerada nos modelos de simulação.

## 4.5.2 Vegetação

Quanto às árvores e grandes arbustos, foi realizada uma análise detalhada à zona B, onde foi considerado o tipo de cada árvore, e um estudo simplista à zona A, onde todas as árvores foram examinadas como sendo de um único espécime (Tília de folhas grandes). Na Tabela 4.10 foram registados os dados utilizados para as árvores dos modelos de simulação, tendo a altura da base e do cimo da copa da árvore e o respetivo comprimento sido analisados por via de imagens satélite fornecidas pelo *software* Google Earth (Google, 2019). A informação sobre a espécie das árvores existentes na zona B foi recolhida através dos Geodados partilhados pela GISLisboa (Câmara Municipal de Lisboa, 2019).

Tabela 4.10: Árvores adotadas e características associadas.

ÁRVORES E GRANDES ARBUSTOS													
Espécie	CO <sub>2</sub>	F	$\alpha$	T	h	H	L	M	I	P	D	Zona A	Zona B
Amargoseira ( <i>Melia Azedarach</i> )	C3 **	Caduca 1	26 2**	27 2**	1 **	3 **	3 **	55,84 2**	12 *	4 *	10 *		✓
					1 **	4 **	3 **						✓
					2 **	5 **	3 **						✓
					1 **	5 **	5 **						✓
					2 **	6 **	3 **						✓
					3 **	6 **	5 **						✓
					1 **	8 **	7 **						✓
Lódão bastardo americano ( <i>Celtis occidentalis</i> )	C3 **	Caduca 3	26 2**	27 2**	3 **	9 **	10 **	55,84 2**	12 *	4 *	10 *		✓
Lódão bastardo ( <i>Celtis australis</i> )	C3 **	Caduca 4	26 2**	27 2**	2 **	5 **	3 **	55,84 2**	12 *	4 *	10 *		✓
Punhal espanhol ( <i>Yucca aloifolia</i> )	C3 **	Caduca **	26 2**	27 2**	3 **	7 **	5 **	55,84 2**	12 *	4 *	10 *		✓
Tília de folhas grandes ( <i>Tilia platyphyllos</i> )	C3 **	Caduca 5	25 2	33 2	1 **	4 **	3 **	36,80 2	12 *	4 *	10 *	✓	✓
<p><b>Colunas:</b> CO<sub>2</sub> – Tipo de fixação de CO<sub>2</sub>; F – Tipo de folha; <math>\alpha</math> – Albedo (ondas curtas) [%];  T – Transmitância (ondas curtas) [%]; h – Altura da base da copa [m]; H – Altura [m]; L – Comprimentos [m];  M – Massa foliar [g m<sup>-2</sup>]; I – Capacidade de isopreno; P – Profundidade das raízes [m]; D – Diâmetro das raízes [m]  <b>Localização das zonas:</b> A – Alta de Lisboa; B – Entrecampos  * Valores padrão do ENVI-met; ** Valores considerados  <sup>1</sup> Serralves, 2019; <sup>2</sup> OPTICLEAF, 2015; <sup>3</sup> Instituto Arqueiro, 2009; <sup>4</sup> Serralves, 2018; <sup>5</sup> Planfor, 2017.  Nota (1): Uma vez que não foi encontrado um estudo referente ao tipo de fixação de CO<sub>2</sub> das plantas presentes na tabela e 95% das plantas da Terra serem do tipo C3 (Panawala, 2017), foram consideradas como tal.  Nota (2): O único arbusto presente (punhal espanhol) foi considerado como tendo folha do tipo caduca, uma vez que não foi encontrada nenhuma referência ao seu tipo.  Nota (3): Para o albedo, a transmitância e a massa foliar, foram utilizados os dados da base de dados LOPEX1993 (OPTICLEAF, 2015). No entanto, apenas a tília de folhas grandes se encontra presente no mesmo, tendo sido atribuído a média de todas as plantas da base de dados para as restantes espécies.</p>													

No caso da vegetação rasteira (no qual se incluiu um arbusto de 1 m, cuja espécie não foi identificada) não foi encontrada informação específica de cada espécie existente, pelo que foram utilizadas as informações padrão presentes no ENVI-met para plantas do tipo erva, à exceção da altura, tendo sido esta realizada de igual forma à da análise das árvores e grandes arbustos. Na Tabela 4.11 encontram-se representadas as características consideradas para cada espécie utilizada nos modelos de simulação.

Tabela 4.11: Vegetação rasteira adotada e características associadas.

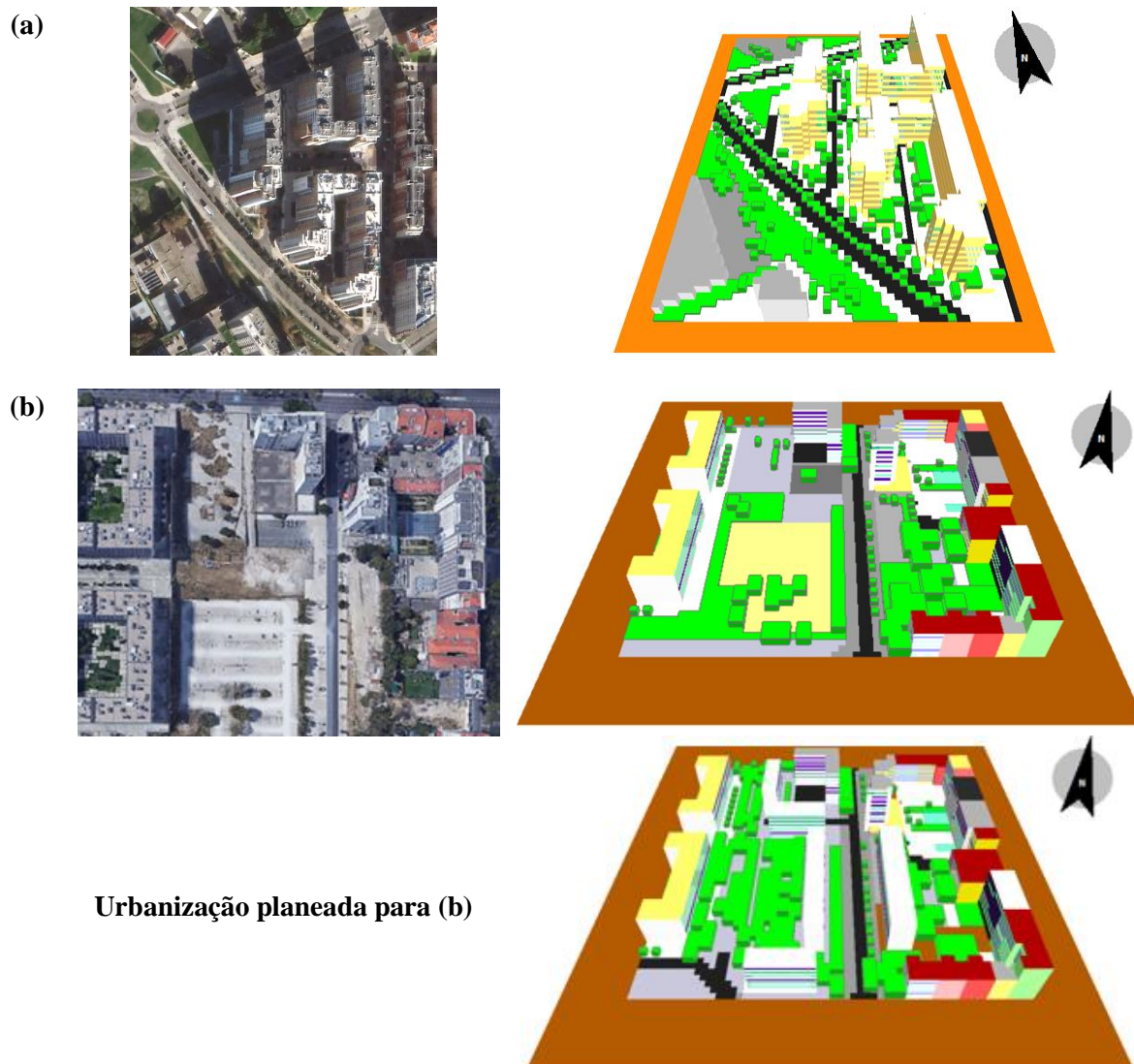
PLANTAS RASTEIRAS										
Espécie	CO <sub>2</sub>	F	$\alpha$	T	H	P	LAD	RAD	Zona A	Zona B
Arbusto	C3 *	Erva *	20 *	30 *	100 **	0,5 *	0,3 *	0,1 *	✓	✓
Pasto seco					50 **					✓
Relva ( <i>Panicum repens</i> )					4 **				✓	✓
<b>Colunas:</b> CO <sub>2</sub> – Tipo de fixação de CO <sub>2</sub> ; F – Tipo de folha; $\alpha$ – Albedo [%]; T – Transmitância [%]; H – Altura [cm]; P – Profundidade da zona da raiz [m]; LAD – Densidade da área foliar; RAD – Densidade da área de raiz <b>Localização das zonas:</b> A – Alta de Lisboa; B – Entrecampos * Valores padrão do ENVI-met; ** Valores considerados										

Na secção seguinte são abordadas informações adicionais acerca dos modelos de simulação das duas áreas de estudo.



### 4.5.3 Informações sobre os modelos de simulação

Quanto às dimensões, para a zona A foi usado um modelo 57x77x35 com uma resolução de 4x4x3 m para cada célula, e de 80x80x45 e 4x4x2 m para a zona B. Os modelos da construção atual para ambas e da urbanização futura para a zona B encontram-se apresentados na Figura 4.6.



Fachadas (pedra lioz)	(a)	(b)	Telhados	(a)	(b)
Amarelo torrado		✓	Asfáltico branco	✓	
Bege	✓	✓	Bege		✓
Branco		✓	Branco		✓
Cinzentos claro	✓	✓	Telhado cerâmico		✓
Cinzentos escuro		✓	Cinzentos		✓
Rosa		✓	Cinzentos escuro		✓
Rosa claro		✓	Rosa		✓
Verde claro		✓	(Outros)	✓	

Solos	(a)	(b)	Outros	(a)	(b)
Areia		✓	Estore de alumínio (branco)		✓
Asfalto	✓	✓	Estore de PVC (branco)		✓
Asfalto claro		✓	Plantas	✓	✓
Betão		✓	Porta de alumínio (branco)		✓
Betão (usado/sujo)		✓	Vidro simples		✓
Betão claro		✓	Vidro duplo (1)		✓
Betão escuro	✓	✓	Vidro duplo (2)		✓
Granito (empedrado)	✓	✓			
Granito escuro		✓			
Terra		✓			
(Fora da área de estudo)	✓	✓			

**Nota:** As cores originais poderão variar em termos de contraste devido à inclinação dos modelos das áreas de estudo.

Figura 4.6: Modelos base da Alta de Lisboa (a) e de Entrecampos (b).

Quanto às simulações realizadas no ENVI-met, cada uma foi efetuada num período de 44 horas simuladas, a contabilizar a partir das 4 h do dia anterior aos de análise, como forma de conseguir resultados mais fiáveis. Foi usada a opção *Full Forcing* com o ficheiro criado no programa Meteonorm, conforme especificado na secção 4.3.2, forçando a temperatura, radiação/nuvens, vento e humidade relativa a terem os valores de referência desse mesmo ficheiro. Nas opções avançadas apenas se considerou uma temperatura interior dos edifícios constante, de 25 °C para o verão e de 20 °C para o inverno. As restantes definições foram mantidas como padrão do ENVI-met.

Após finalizada a simulação, realizou-se o cálculo da temperatura fisiológica equivalente (PET), recorrendo ao programa BIO\_met, presente no ENVI-met. Para isso, foi necessário saber qual o “homem típico” e a “mulher típica” de Portugal (Tabela 4.12).

Tabela 4.12: Informação usada para o cálculo da PET.

	Homem	Mulher	Bibliografia
Idade [anos]	46		(Guapo, 2016)
Peso [kg]	77,53	66,67	(Guapo, 2016)
Altura [m]	1,74	1,63	(Guapo, 2016)
Isolamento térmico do vestuário [clo]	0,5 (verão) 1,0 (inverno)		(Vecchi, Lamberts & Candido, 2017)
Metabolismo basal [W]*	82,03	67,12	-
Metabolismo de trabalho [W]	80,00		-
Velocidade a andar [m s <sup>-1</sup> ]**	1,21		-
* Calculado automaticamente pelo ENVI-met			
** Necessária para o cálculo do metabolismo de atividade por parte do ENVI-met, deixado como sendo o padrão			

Em relação ao isolamento térmico do vestuário, foram considerados valores para dias de verão e inverno não extremos, tendo como base a Figura 4.7, na qual se consideraram os valores 0,5 para o verão por considerar uma pouca frequência de uso no inverno, não sendo esta nula, e 1,0 para o inverno devido a conter ainda cerca de 20% de frequência fora do inverno.

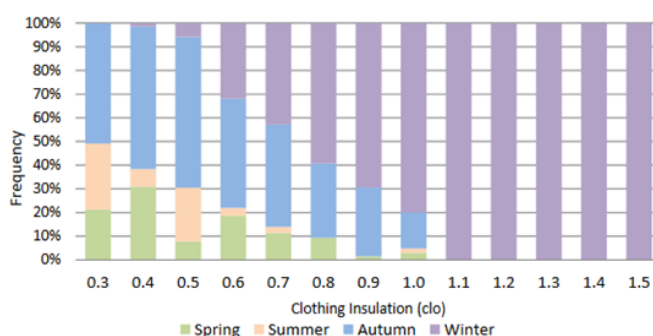


Figura 4.7: Isolamento térmico do vestuário (Vecchi, Lamberts & Candido, 2017).

Devido ao ENVI-met não permitir simulações dos dois géneros em conjunto, foi necessário verificar qual o mais predominante na população lisboeta. Em 2016, viviam 230.855 pessoas do sexo masculino e 273.863 do feminino, representando, aproximadamente 54,3% de mulheres. Para o caso da população residente na Área Metropolitana de Lisboa, 1.322.361 homens e 1.494.653 mulheres, o equivalente a, aproximadamente, 53,1% de mulheres (Pordata, 2019).

Relativamente à população residente no concelho de Lisboa e na Área Metropolitana de Lisboa com 65 anos ou mais, o género feminino é maioritário, com uma representatividade de 62,2% e 58,5%, respetivamente (Pordata, 2020a, 2020b).

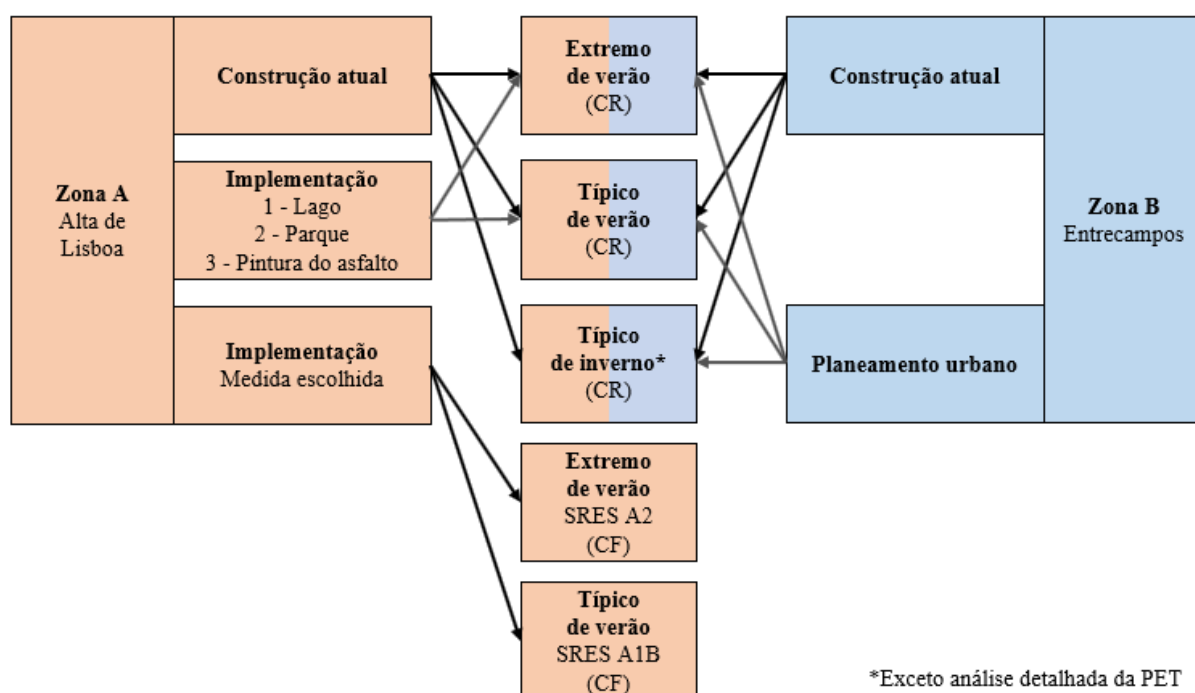
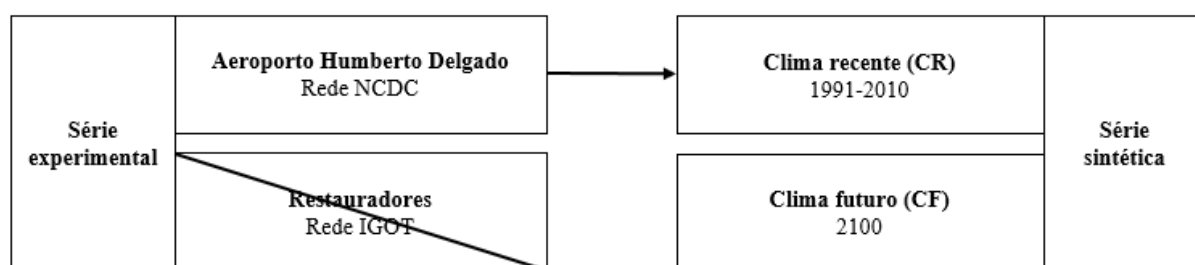
Dado que a maioria dos residentes são do sexo feminino, tanto no total como de população com 65 ou mais anos, aliado ao facto do género feminino sofrer mais com fenómenos de calor (Greater London Authority, 2006), o cálculo da PET foi realizado com a informação da Tabela 4.12 referente ao mesmo.

Para uma melhor análise dos resultados do estudo, apresentados no capítulo seguinte, foi registado o grau de stress fisiológico causado pela PET na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Categorização da PET [traduzido de (Zare et al., 2018)].

PET [°C]	Percepção térmica	Grau de stress fisiológico
< 4	Muito frio	Extremo (frio)
4-8	Frio	Intenso (frio)
8-13	Fresco	Moderado (frio)
13-18	Levemente fresco	Leve (frio)
18-23	Confortável	Nenhum
23-29	Levemente morno	Leve (calor)
29-35	Morno	Moderado (calor)
35-41	Quente	Intenso (calor)
> 41	Muito quente	Extremo (calor)

#### 4.6 Esquematização dos métodos relativos aos dados climáticos



\*Exceto análise detalhada da PET



O registo do tráfego automóvel nas horas de ponta para ambas as áreas obteve diversos valores nulos, o que claramente não corresponde à realidade do quotidiano no município de Lisboa. Para os registos não nulos efetuados, foi considerado um número de veículos nas horas de ponta da manhã e de tarde conforme indicado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Circulação de veículos nas horas de ponta.

	Alta de Lisboa (zona A)		Entrecampos (zona B)
	Estrada principal	Arruamentos	Estrada principal
<b>Manhã (9 h)</b>	150	10	153
<b>Tarde (18 h)</b>	369	25	498

Considerou-se que das 23 h às 04 h não circulavam veículos. Através de três regressões lineares (das 04 h às 09 h, das 09 h às 18 h e das 18 h às 23 h), estimou-se o número de veículos que circulam diariamente nas duas zonas (Tabela 4.15).

Tabela 4.15: Circulação diária de veículos estimada.

	Alta de Lisboa (zona A)		Entrecampos (zona B)
	Estrada principal	Arruamentos	Estrada principal
<b>Diário</b>	3650	248	8000

Uma vez que não foi possível colocar uma distribuição de forma manual na ferramenta de tráfego existente no ENVI-met, esta foi considerada como sendo uma estrada urbana com 2 vias de rodagem. A distribuição encontra-se, de forma gráfica, representada na Figura 4.9.

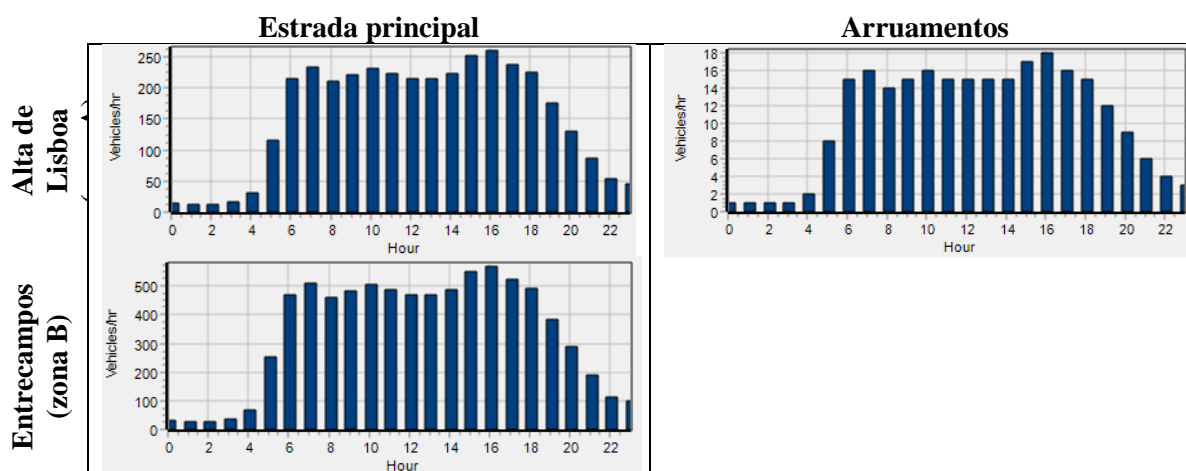


Figura 4.9: Distribuição horária da circulação de veículos.

A distância total aproximada das estradas é de 868 m para a estrada principal e 440 m para os arruamentos da zona A e 236 m para a zona B.

As emissões dos automóveis consideradas encontram-se representadas na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Emissões considerações dos veículos urbanos (Ntziachristos & Samaras, 2019).

	Considerações	CO	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2 eq</sub> )	PM <sub>2,5</sub> = PM <sub>10</sub>
		[g km <sup>-1</sup> veículos <sup>-1</sup> ]		
<b>PC</b> (Euro 6 2017-2019)	(100% pequenos) 50% gasolina; 50% diesel	0,36500	0,20300	0,00155
<b>LDV</b> (Euro 6 2018-2020)	50% gasolina; 50% diesel	0,68750	0,28000	0,00105
<b>HDV</b> (Euro VI)	100% a diesel <= 7,5 t	0,04700	0,18000	0,00050
<b>Bus</b> (Euro VI)	100% padrão urbano	0,22300	0,59700	0,00230
<b>Coaches</b> (Euro VI)	100% padrão	0,15000	0,49600	0,00180
<b>MC</b> (Euro 3 e superior)	(100% motor de 2 tempos) 50% <50 cm <sup>3</sup> ; 50% >50 cm <sup>3</sup>	2,26500	0,22500	0,01380

No entanto, à exceção do NO<sub>x</sub> e do PM<sub>x</sub> só é possível a existência de um poluente *input* no ENVI-met. Por este motivo foram negligenciadas as informações referentes ao CO.

Quanto à distribuição existente de veículos, face a não se ter encontrado esta informação nem acerca da distância percorrida por tipo de veículo, esta foi considerada conforme descrito na Tabela 4.17:

Tabela 4.17: Percentagem de veículos considerada a circular em Lisboa.

Tipo	PC	LDV	HDV	Bus	Coaches	MC
Frequência [%]	75,0	10,0	0,5	10,0	0,5	4,0

Realizando a média ponderada dos valores de CO<sub>2</sub> dos veículos presentes na Tabela 4.14 com a distribuição apresentada anteriormente, descobriu-se que, em média, **cada veículo emite 273,3 g km<sup>-1</sup>**.

Quanto à concentração de poluentes na atmosfera, esta foi recolhida através de um estudo realizado em 2015 acerca da avaliação da qualidade do ar ambiente referente à estação de Entrecampos (Nogueira & Mesquita, 2016) e a informação encontra-se exposta na Tabela 4.18.

Tabela 4.18: Concentração de poluentes considerada (Nogueira & Mesquita, 2016).

Poluente	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Concentração [μg m <sup>-3</sup> ]	308	39	97	24	15

Mais uma vez a concentração de CO não foi tida em conta, tendo sido substituída pela de CO<sub>2</sub> sem qualquer valor acrescido ao padrão do ENVI-met (~400 ppm).

Foram realizados dois estudos para determinar o potencial de sequestro de CO<sub>2</sub> por parte das árvores. O primeiro contou com a mobilidade, mas, devido a problemas com a simulação associadas ao elevado vento, foi usado o sistema *Simple Forcing (Standard)* com as informações mais próximas possíveis ao estudo relativo à mitigação da ICU, excluindo a velocidade do vento, que se considerou de apenas 2,0 m s<sup>-1</sup>. Já o segundo não se teve em conta a mobilidade e utilizaram-se as condições atmosféricas idênticas às que foram utilizadas na análise da ICU.

De forma a descobrir o potencial de captura de CO<sub>2</sub> por parte das árvores, foi calculada a diferença entre os modelos descritos com e sem árvores.

## 5 Resultados e discussão

Esta secção foi dividida entre os 2 estudos realizados, sendo estes:

1. Mitigação da ICU na zona A (Alta de Lisboa) a longo prazo (2100);
2. Impacto da construção futura na zona B (Entrecampos) no conforto térmico da população.

Após as simulações dos modelos base para os dias extremo de verão, típico de verão e típico de inverno, analisaram-se a temperatura do ar e a PET a 1,5 m para a zona A e a 1,8 m para a B (esta diferença deve-se à diferente escala de altitude utilizada), assim como a temperatura da superfície.

Os resultados são apresentados em *tile plots* através do número de ocorrências da temperatura ou diferença da mesma para todas as horas dos dias examinados. Durante a análise foram negligenciados valores de temperaturas de muito baixa ocorrência, os quais não é possível a sua visualização gráfica.

Para uma análise detalhada do conforto térmico da população, foram exibidos gráficos térmicos relativos à PET das zonas para um período horário das 10 h às 18 h, sendo esta a altura mais relativa para o estudo, em intervalos de 2 horas. Para os restantes horários, os dados obtidos encontram-se presentes no Anexo B, assim como das 24 horas das temperaturas do ar e da superfície.

São apresentados primeiro os resultados e a discussão referentes ao estudo da zona A, devido à sua maior elaboração. Para a zona B, estes são apresentados depois.

### 5.1 Mitigação da ICU na Alta de Lisboa

Nesta secção são apresentados e discutidos os resultados das simulações realizadas para a zona A, iniciando-se com uma análise às temperaturas absolutas do cenário atual, sem qualquer alteração na construção da área, seguido da abordagem de propostas de medidas de mitigação, analisando-se tanto o seu impacto térmico como os custos monetários associados. De entre as três medidas que são analisadas – inserção de um lago, criação de um parque urbano e a pintura do asfalto – procede-se à escolha da medida com melhor custo/benefício, sendo que as árvores existentes foram todas consideradas como sendo Tílias de folhas grandes. Por último, realiza-se uma análise ao clima futuro com base na medida de mitigação escolhida.

### 5.1.1 Cenário atual

Os resultados da simulação do modelo atual, para a série sintética modelada, referentes à zona A estão apresentados na Figura 5.1, para o verão.

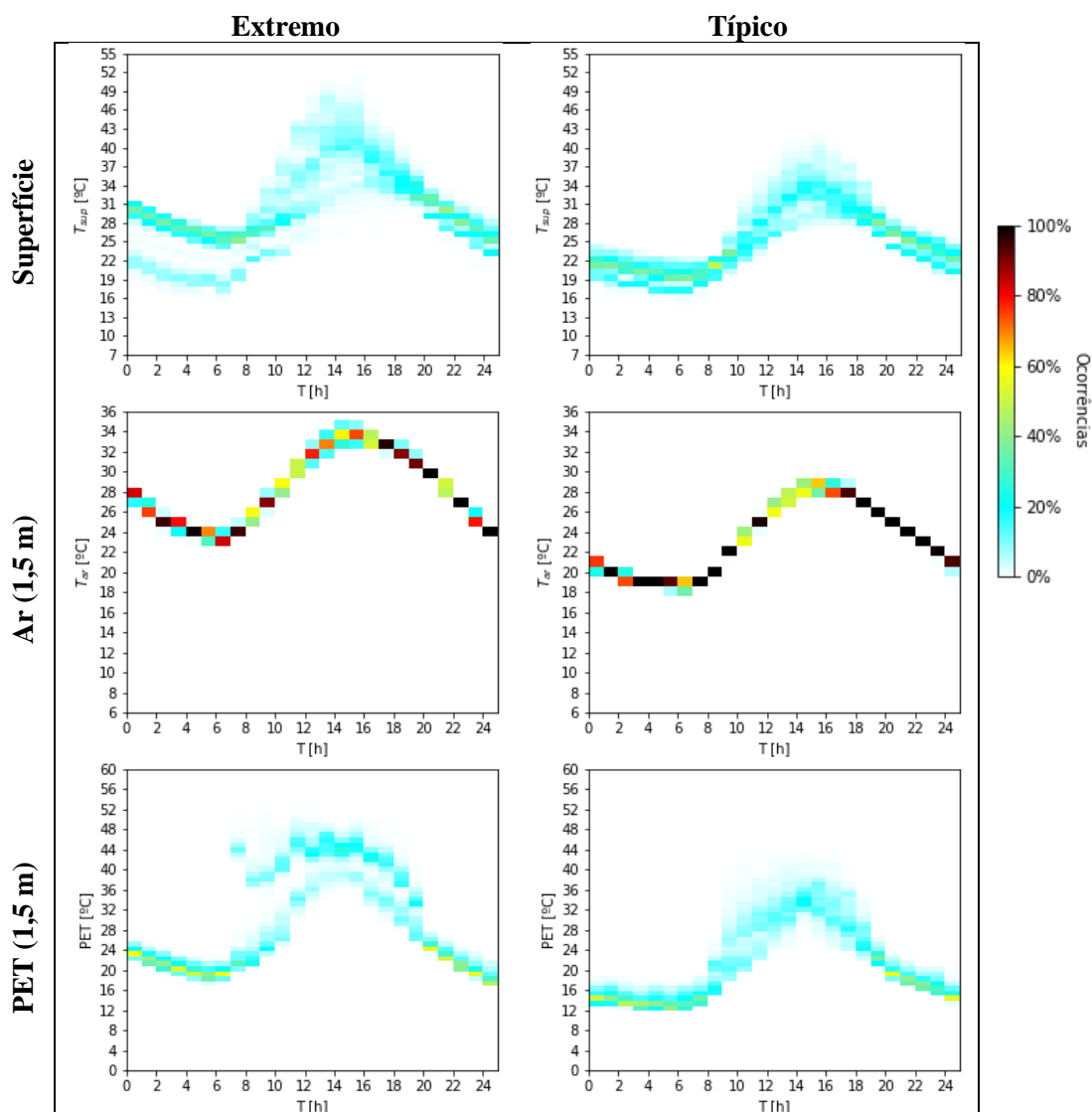


Figura 5.1: Temperaturas horárias do cenário base da Alta de Lisboa, no verão.

No caso da superfície, verificou-se que esta atinge ocorrências de temperaturas mais elevadas entre 12 e as 17 h, com valores entre os 28 e os 49 °C durante o dia extremo de verão e os 25 e 40 °C no típico. As temperaturas mais elevadas associam-se sobretudo ao asfalto utilizado nas estradas (ver secção “Construção atual & Clima atual” presente na Tabela B.1 do Anexo B).

Das 0 às 9 h do dia extremo de verão existem duas situações diferentes nas ocorrências entre temperaturas, com temperaturas mais baixas nos locais sombreados pela vegetação durante o dia anterior, cujo não absorvem tanto calor durante o dia quanto os locais que apanham radiação solar diretamente, conforme demonstrado no mesmo anexo do referido no parágrafo anterior.



Quanto à temperatura do ar a 1,5 m do solo, a temperatura mínima é atingida entre as 6 e as 7 h, correspondendo a 23 °C numa dia extremo de verão e a 18 °C num dia típico de verão, já as máximas chegam aos 35 e 29 °C, respetivamente, entre as 14 e as 16 h, sendo estas temperaturas típicas do concelho de Lisboa. Tendo em conta os meses de julho e agosto, a temperatura máxima registada para o dia típico de verão é ligeiramente superior, em 1-2 °C, à da média do município lisboeta, enquanto que a mínima é semelhante (Climate-Data.org, 2013-b).

No que toca à PET a 1,5 m da superfície, o pico máximo é alcançado entre as 11 e as 17 h, chegando a atingir entre os 44 e os 48 °C no dia extremo de verão e 32 a 38 °C no típico. Já a PET mínima, entre o período das 4 e as 7 h, abrange valores para os mesmos dias de 18 e 12 °C, respetivamente. De acordo com a escala que relaciona o grau de stress fisiológico com a PET, apresentadas na Tabela 4.13, apresentada no final da secção 4.5.3, no dia extremo de verão o grau vai de confortável a extremamente quente, enquanto que no típico este passa a ser de moderadamente frio a intensamente quente. É, por isso, importante a implementação de medidas de mitigação da ICU como forma a diminuir a PET de dia, mas que tal não ocorra durante a noite.

Foi realizada a mesma análise da efetuada anteriormente, mas para o inverno. Os resultados encontram-se representados na Figura 5.2.

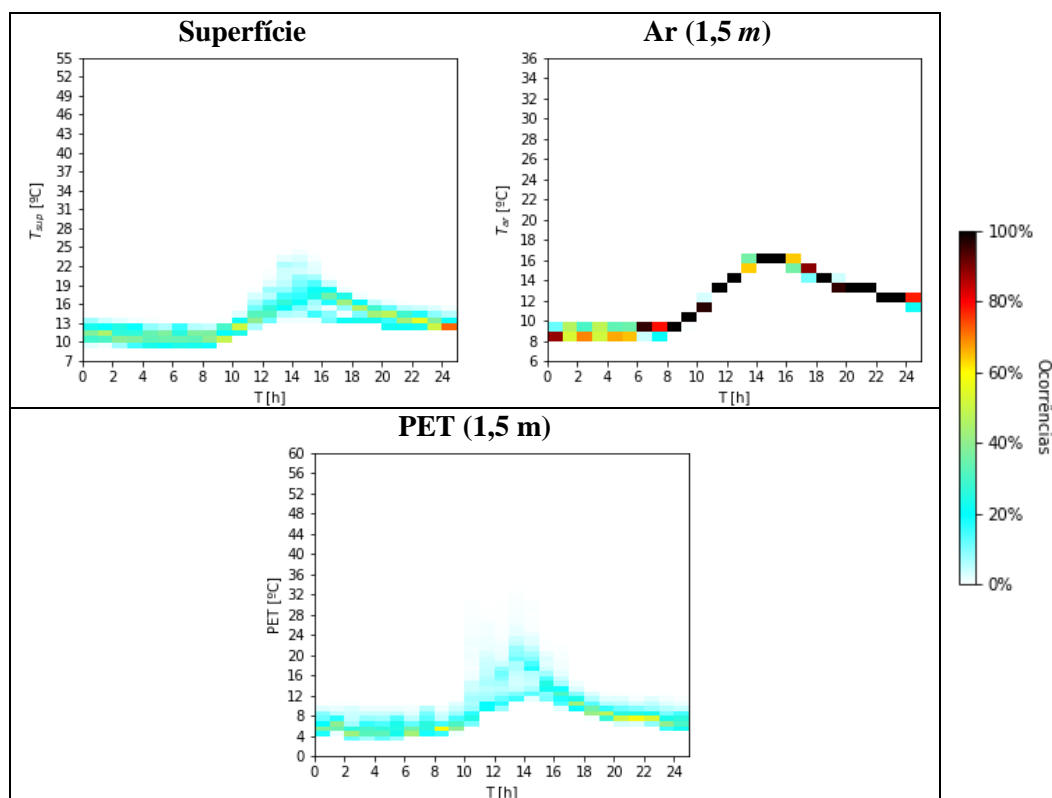


Figura 5.2: Temperaturas horárias do cenário base da Alta de Lisboa, no inverno.

A superfície atinge temperaturas que vão dos 9 aos 22 °C, bastante abaixo daquelas existentes no verão devido à menor radiação incidente no solo. Já a temperatura do ar 1,5 m acima do solo vai dos 8 aos 16 °C, sendo estas muito próximas da média de Lisboa (Climate-Data.org, 2013-b).

Relativamente à PET a 1,5 m do nível da superfície, entre as 2 e as 6 h atinge o mínimo de 3 °C, enquanto que a máxima alcança os 24 °C, pelas 13 h. De acordo com a Tabela 4.13, apresentada no final da secção 4.5.3, o grau de stress fisiológico abrangido por esses valores de temperatura vai do extremamente frio a levemente quente. No período diurno (cerca das 8 às 18 h), a PET mínima horária está classificada como sendo intensamente a moderadamente fria. Não havendo problemas com temperaturas baixas no inverno, a análise das medidas de mitigação no inverno foi negligenciada.

De seguida, verificou-se quais as zonas onde ocorre um maior desconforto térmico. Para isso, foram analisadas as representações gráficas a cada 2 horas das 10 às 18 h (Figura 5.3). A direção do vento pode ser visualizada nos gráficos térmicos da temperatura do ar 1,5 m acima da superfície presentes na Tabela B.1, na secção “Construção atual & Clima atual” do Anexo B.

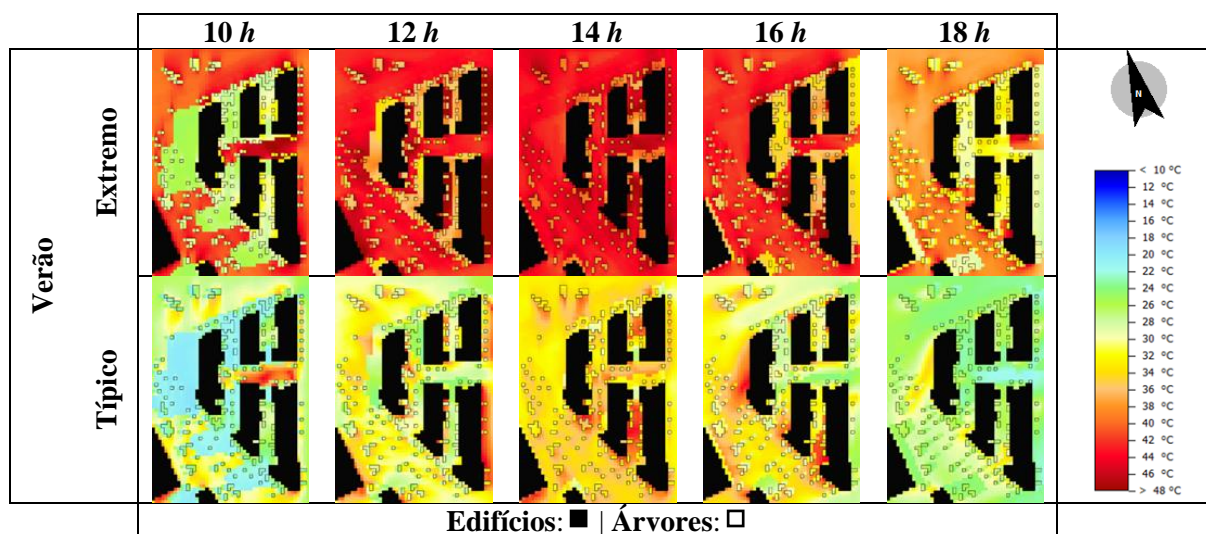


Figura 5.3: PET a 1,5 m do solo respetivo ao cenário base da área da Alta de Lisboa.

Através da visualização da figura anterior, para o dia de verão extremo averiguou-se que o maior grau de desconforto térmico se encontra entre os edifícios, devido ao efeito barreira ao vento (que se transporta para a direção Norte ou Nordeste) proporcionado pelos mesmos, levando a que o ar não seja tão renovado quanto a restante área. A partir das 16 h, o vento passa a ter a direção para Oeste, daí a diminuição mais brusca da PET.

Para o caso do dia típico de verão, o vento fraco da manhã explica a existência de aprisionamento do calor entre os edifícios às 10 h. Para as 12 h, foi possível verificar que o “efeito ping-pong” entre o edifício da esquerda e o de cima que se encontra à sua direita proporciona entrada de transporte de ar, mesmo que este tenha como destino o Este, levando ao a uma menor PET entre os edifícios face à restante área. Entre as 13 e as 14 h, o vento tem como direção Norte, o que leva à pouca passagem de vento entre os edifícios, o que faz com que o conforto térmico na área seja inferior se comparado com os outros locais. A partir das 15 h, o vento sopra para Oeste, levando a que a área mencionada contenha uma PET inferior.

Além da infraestrutura, foi possível verificar que as árvores, apesar de contribuírem para uma menor PET, podem contribuir, também, para a diminuição do conforto térmico a curto alcance devido ao efeito barreira existente ao vento.

Seguidamente, abordam-se as medidas de mitigação escolhidas como forma de combate ao desconforto urbano entre a infraestrutura.

### 5.1.2 Medidas de mitigação

É importante estudar formas de controlar a temperatura entre os edifícios da área, tendo em conta as restrições existentes – as estradas e o que se encontra entre a estrada e o edifício mais à esquerda são de domínio público (ver Figura 4.6-a, presente na secção 4.5.3), sendo o restante privado.

Face às elevadas PET obtidas em dias de verão, nomeadamente entre os edifícios, foram estudadas algumas medidas de mitigação. Assim sendo, foram analisadas três medidas de mitigação – lago, parque e pintura do asfalto (Figura 5.4). A análise do lago tem como objetivo a redução da temperatura do ar e da PET entre os edifícios, com o vento como principal meio de transporte das moléculas de água; o parque urbano acrescenta ao efeito da água o facto de criar uma zona de lazer e de refúgio às elevadas temperaturas para a população; e a pintura do asfalto que este não absorva tanto calor de dia, minimizando a temperatura da superfície e, consequentemente, do ar e, de noite, à diminuição da libertação do calor armazenado. Foi realizado o estudo para ambos os dias de verão para as três medidas.

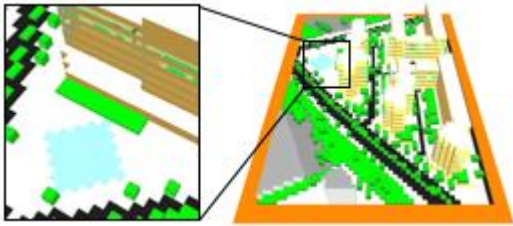
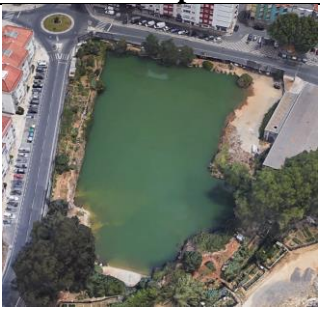
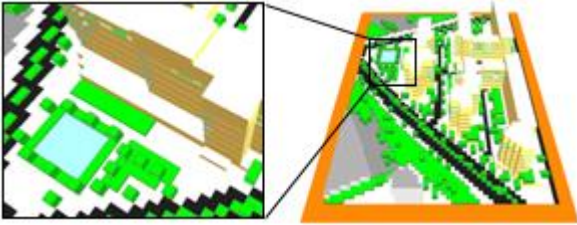

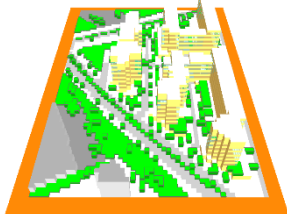

	Modelo do ENVI-met	Exemplo
Lago		 (Google, 2019)
Parque		 (Google, 2019)
Pintura do asfalto		 (Parry, 2017)

Figura 5.4: Medidas de mitigação propostas para a área da Alta de Lisboa.

A diferença de temperaturas da superfície entre a implementação das medidas e o cenário atual, utilizando a mesma referência climática, encontra-se apresentada na Figura 5.5. Não foram representados gráficos relativos à implementação do lago nem do parque uma vez que, devido à baixa abrangência que as medidas provocam, o número de ocorrências de variação nula é tão elevado ao ponto de não se verificar qualquer registo de variação nas *tile plots*.

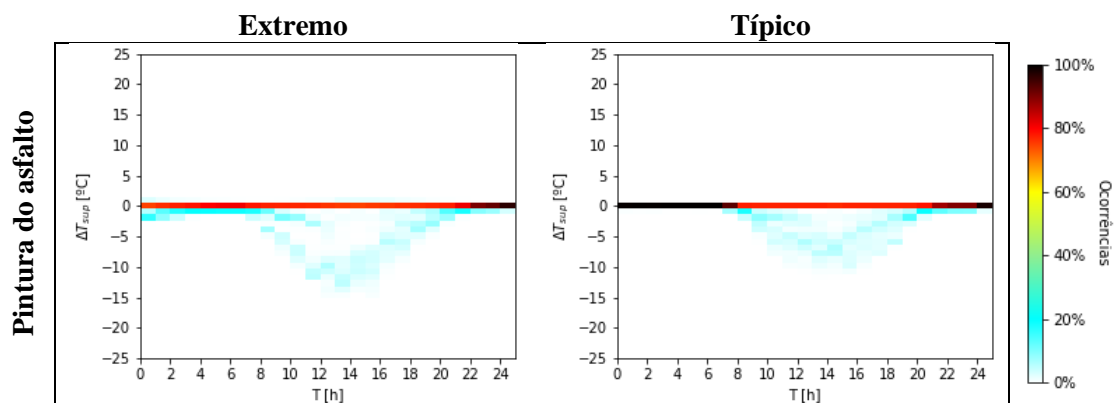


Figura 5.5: Variação da temperatura horária da superfície entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base da Alta de Lisboa, no verão.

Ao contrário do lago e do parque, a pintura do asfalto é uma medida bastante abrangente, uma vez que todo o asfalto é pintado de branco. Esta demonstrou-se ser uma medida capaz de diminuir a sua temperatura em até 13 °C no dia extremo e 10 °C no típico de verão.

A análise à temperatura do ar a 1,5 m do solo encontra-se apresentada na Figura 5.6 .

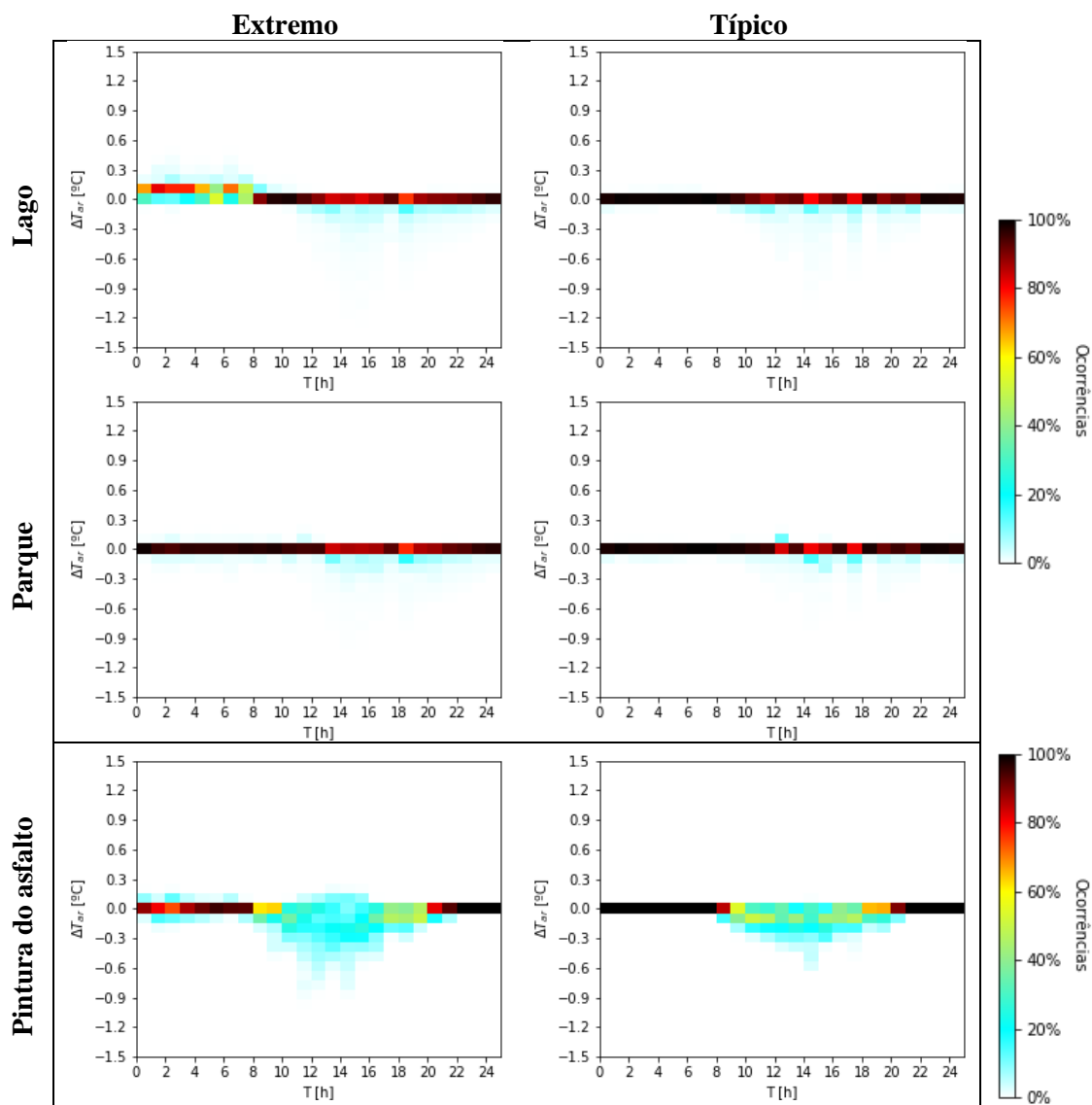


Figura 5.6: Variação da temperatura horária do ar a 1,5 m entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base da Alta de Lisboa, no verão.



Como seria de esperar, a temperatura do ar 1,5 m acima do nível do solo sofre maiores alterações em termos de ocorrência com a pintura do asfalto que com a criação do parque ou do lago junto à infraestrutura. Durante o período diurno, não foram encontradas ocorrências de aumentos de temperatura acima dos 0,1 °C em nenhuma das medidas.

Face ao menor alcance existente com as medidas da implementação do lago e do parque, apenas se verifica a ocorrência de uma diminuição na temperatura do ar em até 0,3 e 0,2 °C, respetivamente. No caso do dia extremo de verão, existe um aumento no período noturno em até 0,2 °C como resultado da criação do lago, o que não é um valor significativo.

Relativamente à pintura do asfalto, esta leva a uma diminuição da temperatura do ar a 1,5 m do solo em até 0,8 °C durante o dia extremo e 0,6 °C no típico de verão. Existe, também, um aumento visível, por visualização da *tile plot*, correspondente ao dia extremo de verão em até 0,1 °C, incluindo durante o dia, sendo este negligenciável face ao decremento existente no mesmo período.

É de realçar que os resultados obtidos dos modelos de simulação têm várias incertezas associadas, tais como os dados das características dos materiais e climáticos, a geometria do espaço e os próprios modelos teóricos que servem como base das simulações (Bruse, 2004), pelo que os as comparações realizadas anteriormente para a temperatura do ar a 1,5 m da superfície devem ser entendidas como indicativos e não absolutos.

Quanto à PET 1,5 m acima da superfície, as *tile plots* não foram explícitas para o dia típico de verão, uma vez que apenas mostraram ocorrências na sua variação de -1 a 1 °C para as três medidas de mitigação. Foram, assim, comparados os gráficos térmicos do dia extremo de verão (Figura 5.7).

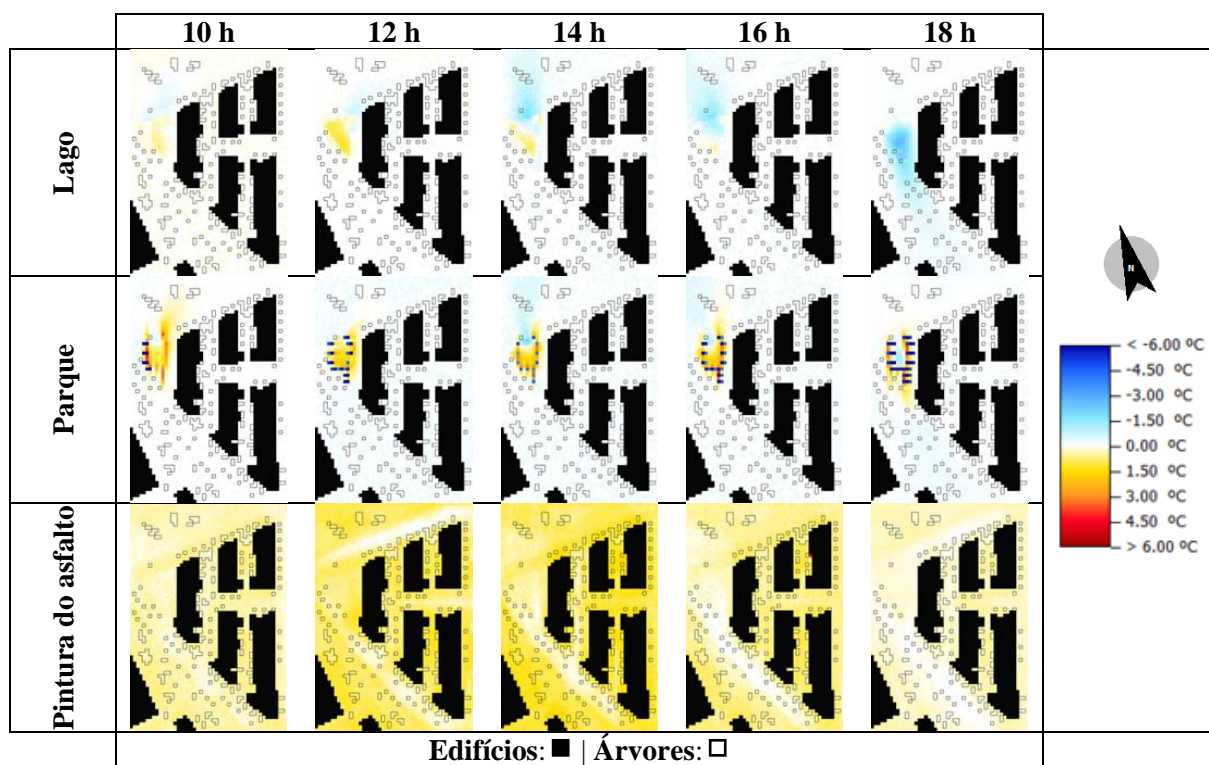


Figura 5.7: Variação da PET a 1,5 m entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base da Alta de Lisboa, no verão (dia extremo).

Como observado, apenas a primeira medida (referente ao lago) levaria à diminuição da PET, sendo o efeito inverso para as restantes medidas. Este último facto, no caso da pintura do asfalto, deve-se à reflexão da radiação solar causada pelo elevado albedo (Bloch, 2019); e, no parque, de as árvores apresentarem-se como um efeito barreira ao arrefecimento causado pela massa de água.

A implementação do lago levaria a uma diminuição da PET em até 2,5 °C nas zonas envolventes, no entanto esta é apenas notável a partir das 14 h. Este fator pode-se dever ao sombreamento causado pela infraestrutura existente nessas horas e nas anteriores, levando à inibição da evaporação da água do lago (Fung & Jim, 2020).

A mesma análise foi realizada para o dia típico de verão, a qual se encontra representada na Figura 5.8.

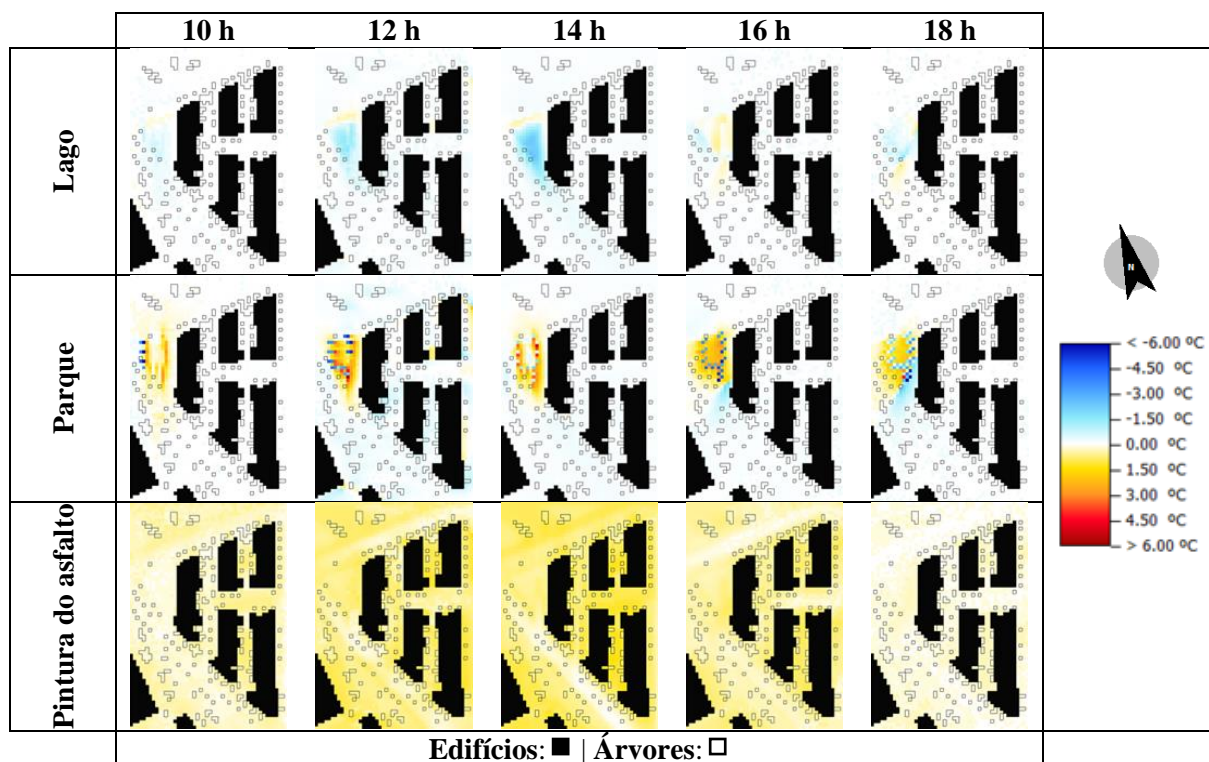


Figura 5.8: Variação da PET a 1,5 m entre a implementação de medidas de mitigação e o cenário base da Alta de Lisboa, no verão (dia típico).

As conclusões tiradas acerca das medidas de implementação para o dia extremo de verão são, também, válidas para o típico, excetuando o referido acerca da evaporação da água antes das 14 h e da diminuição máxima da PET, sendo até 2,0 °C no dia típico de verão.

Com as medidas propostas foi, também, realizado um estudo económico de modo a estimar o custo total de cada medida, tendo como referência a instalação em 2020 e a manutenção até 2100. Nos cálculos, foi considerada a inflação média portuguesa do ano de 2019, tendo sido esta de 0,34% (Inflation.eu, 2019) e com a taxa de conversão do dólar americano para o euro de 27/04/2020 às 21:59 UTC, de 0,923247 (XE, 2020). Os custos finais estimados encontram-se representados na Tabela 5.1, estando os detalhes representados no Anexo C.

Tabela 5.1: Custos associados (em k€) às medidas propostas.

		<b>Lago</b>	<b>Parque</b>	<b>Pintura do asfalto*</b>
<b>Pavimento</b>	Remoção do asfalto	1,0	1,0	-
	Instalação da calçada	10,9	7,8	-
	Pintura do asfalto	-	-	22,2
	Manutenção da pintura	-	-	590,7
<b>Lago</b>	Instalação	1.078,9	508,8	-
	Manutenção	9.190,3	4.333,9	-
	Abastecimento de água	13,7	6,5	-
<b>Vegetação</b>	Plantação das árvores	-	0,7	-
	Plantação do relvado	-	0,1	-
	Manutenção	-	3.788,5	-
<b>Total</b>		<b>10.294,9</b>	<b>8.647,2</b>	<b>612,9</b>
<b>Custos em k€.</b>				
* Não foram considerados custos de manutenção do asfalto, uma vez que esta é realizada independentemente da medida ser aplicada.				

Apesar do custo mais elevado, o lago foi a medida de mitigação que apresentou os melhores resultados nas simulações em relação ao objetivo do estudo, com um aumento do conforto térmico da população através da diminuição máxima estimada da PET em até 2,5 °C nas horas mais preocupantes, e foi, por isso, a medida proposta para ser aplicada na área.

Infelizmente, não foi encontrado qualquer estudo acerca do impacto, por °C, de modo a quantificar se 2,5 °C seria uma boa minimização das PET na área de atuação do lago. No entanto, através da visualização da Tabela 4.13, apresentada no final da secção 4.5.3, é possível verificar que a escala de grau de stress térmico altera a cada 6 °C para temperaturas superiores ao considerado confortável, levando a querer que 2,5 °C seja um valor baixo face ao que seria expectável.

Por outro lado, em Fukuoka, no Japão, foi realizado um estudo onde foram simulados lagos retangulares no meio da cidade para um dia típico de verão na zona, tendo esta uma temperatura do ar bastante próxima do dia extremo de verão para Lisboa. O máximo de redução na PET encontrada foi de 1,6 °C, com dois lagos retangulares paralelos ao vento, e de cerca de 0,5 °C para um único lago. Apesar desta análise, não foi tida em conta a existência de dois lagos retangulares neste estudo uma vez que a direção do vento varia durante o dia e que dois lagos perpendiculares ao vento levam ao efeito inverso do desejado na PET durante o dia (Imam Syafii et al., 2017). Com isto, verifica-se que a diminuição de 2,5 °C relativa a este estudo foi muito superior aos resultados obtidos para Fukuoka.

Como nota, é de realçar o baixo custo da pintura do asfalto se comparado às outras duas medidas, sendo que esta seria uma medida aplicável caso o objetivo fosse a diminuição da temperatura do solo ou do ar e não do conforto térmico.

Tendo sido escolhido o lago como a proposta para a medida de mitigação na zona A, na subsecção seguinte analisa-se o impacto desta a longo prazo (2100).

### 5.1.3 Medida de mitigação proposta

De modo a averiguar se a medida de mitigação escolhida apresenta benefício térmico face ao que seria expectável para 2100, foi realizado um estudo final onde se compararam os resultados obtidos nas simulações com o aumento horário expectável da temperatura de acordo com os dados da série sintética (Meteonorm, 2001). Na Figura 5.9 estão representadas as temperaturas da superfície, do ar e PET a 1,5 m, relativamente ao aumento que seria expectável para a temperatura do ar durante o período descrito (sendo este o zero do eixo das ordenadas). A razão pela qual se compararam as três temperaturas em análise apenas com a temperatura do ar deveu-se à inexistência de informação sobre o aumento expectável da temperatura do solo e da PET para a zona.

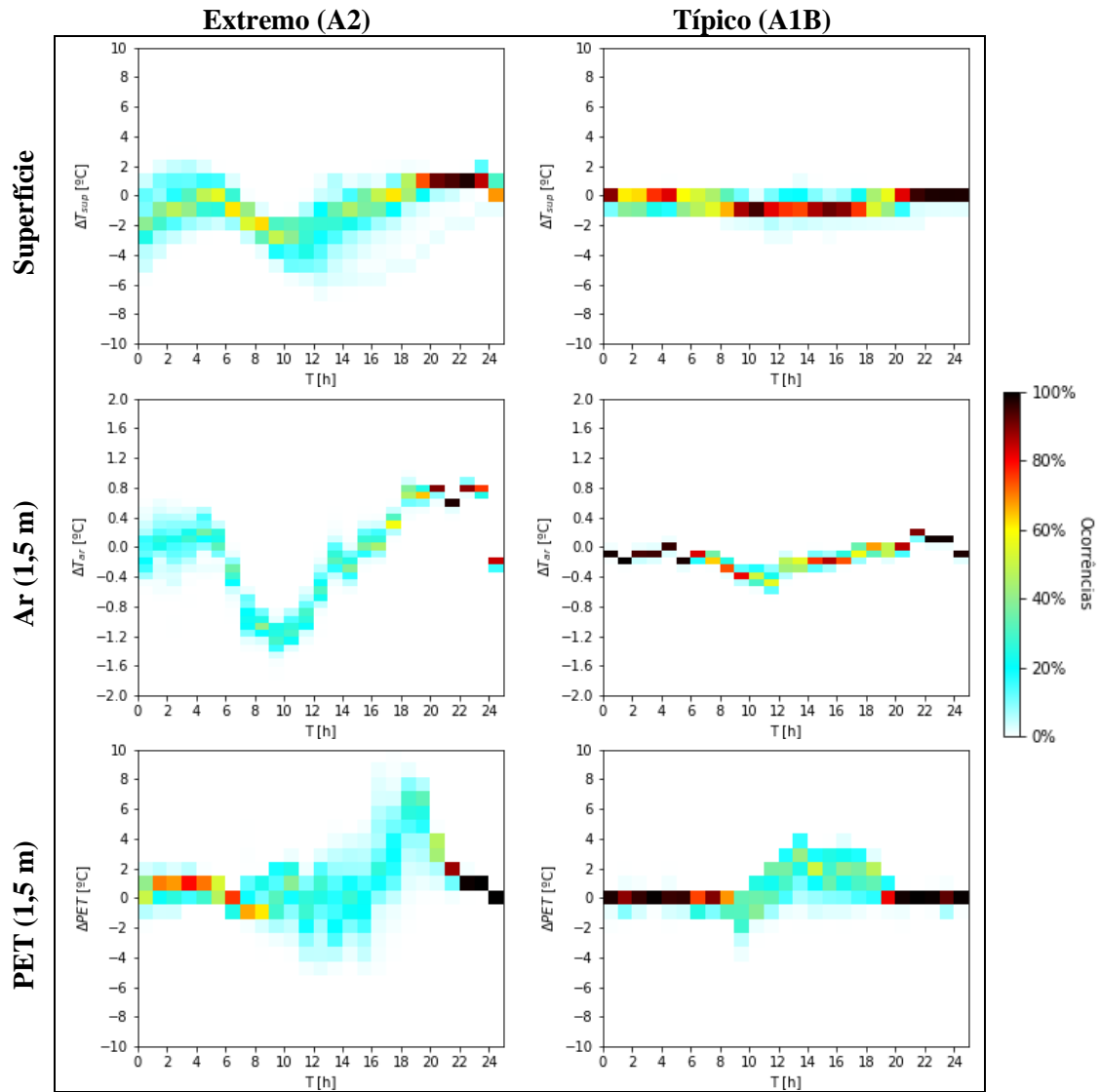


Figura 5.9: Variação das temperaturas horárias entre o clima futuro e o recente com a implementação do lago na área da Alta de Lisboa, no verão.



Como verificado através da visualização da figura anterior, a temperatura da superfície apresenta, das 8 às 18 h, um aumento inferior ao expectável para a temperatura do ar tanto para o dia típico de verão como para o extremo e similar para o período noturno. No entanto a superfície não depende apenas da temperatura do ar, pelo que não foi possível tirar qualquer conclusão para este critério.

Em relação à temperatura do ar a 1,5 m, durante a generalidade do dia existe um aumento inferior ao expectável para ambos os tipos de dia. A partir das 12 h, a diferença entre os resultados e o expectável torna-se inferior.

Quanto à PET 1,5 m acima da superfície existem vários fatores que a afetam, são eles temperatura e humidade do ar, velocidade do vento, temperatura radiante média, o tipo de roupa usada pela pessoa e a sua atividade. Este facto explica o porquê da PET sofrer, na maior parte das horas, um aumento superior ao que é expectável para o ar (Matzarakis & Amelung, 2008).

Ainda assim, foi possível verificar uma menor subida na PET das 6 às 16 h do dia de extremo calor, obtendo-se, após esse período, um elevado aumento até às 21 h provavelmente devido à elevada taxa de libertação de calor proveniente do solo. No dia típico de verão, a PET apresenta-se superior ao aumento de temperatura do ar expectável durante a tarde e ligeiramente inferior na manhã, sendo aproximada no período noturno.

Para uma análise mais detalhada, foram representados os gráficos térmicos da PET das 10 às 18 h, a cada 2 horas (Figura 5.10).

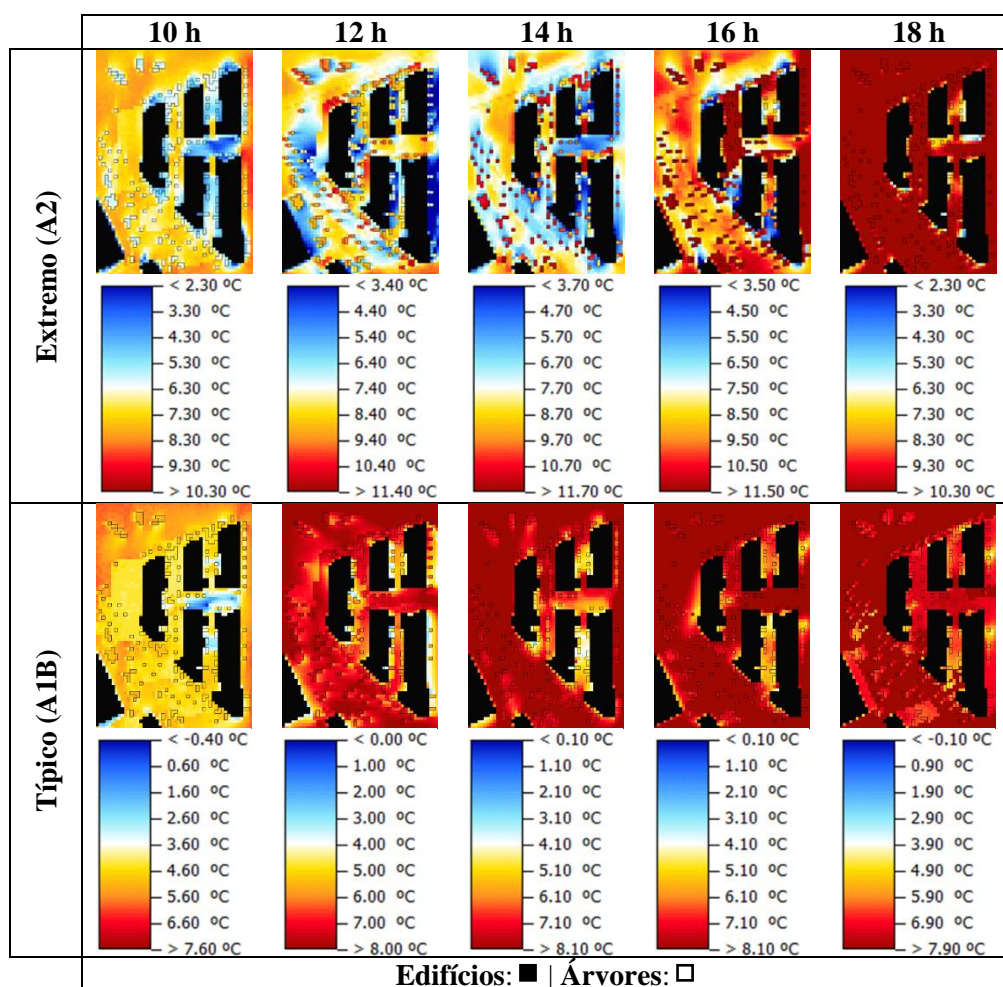


Figura 5.10: Variação da PET a 1,5 m entre o clima futuro e o recente com a implementação do lago na área da Alta de Lisboa, no verão.

Através da análise mais detalhada, verificou-se que o lago levaria a que a temperatura entre os edifícios, sendo esta a zona mais preocupante da área, não sofresse um aumento tão elevado comparativamente ao meio em redor para o período em análise.

De realçar que não foi tido em conta a transição energética existente no setor automóvel nem o crescimento das árvores (sendo que a única alteração efetuada do presente para o futuro nesta etapa foi o clima), fatores estes que influenciariam os três tipos de temperatura analisadas, sendo a da superfície de forma indireta, através da maior distância de sombreamento proporcionado pelas árvores.

Divulgados todos os resultados do estudo relativo à zona A, assim como a respetiva discussão, na secção seguinte retrata-se toda a análise referente à zona B.

## 5.2 Mitigação da ICU em Entrecampos

Nesta secção são apresentados os resultados das simulações realizadas para a zona B e discutidos os mesmos. Inicia-se o seu estudo com as temperaturas absolutas do cenário atual, sem qualquer tipo de modificação do espaço. Por fim, abordam-se os impactos térmicos causados pela urbanização planeada, através da análise das temperaturas relativas, tendo como base as do cenário atual.

### 5.2.1 Cenário atual

Os dados obtidos através da simulação do modelo atual alusivos à zona B encontram-se graficamente registados na Figura 5.11, para as temperaturas da superfície, do ar a 1,8 m e da PET para a mesma altura.

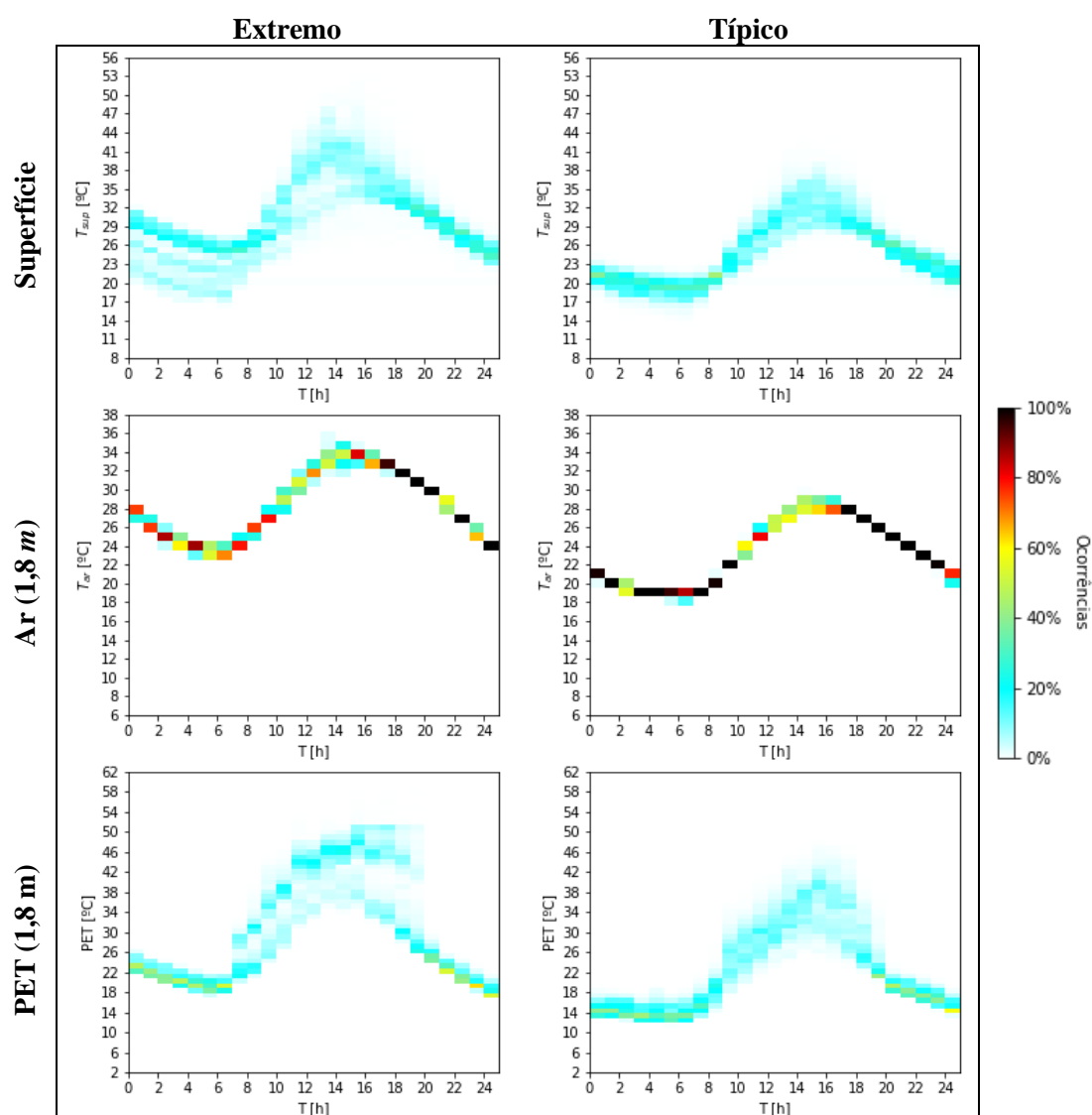


Figura 5.11: Temperaturas horárias do cenário base de Entrecampos, no verão.

Através da observação da figura anterior, foi possível verificar que as conclusões tiradas para o cenário atual da zona A (secção 5.1.1) são igualmente aplicáveis para a zona B. Apesar da escala do eixo das temperaturas ligeiramente diferente, é possível verificar facilmente que a zona B sofre de problemas mais graves de ICU que a zona A, existindo ocorrências visíveis da PET em valores que chegam aos 42 °C num dia de verão típico e 50 °C num dia extremo, apesar das temperaturas do solo e do ar serem ligeiramente inferiores.

A mesma análise foi efetuada para o dia típico de inverno (Figura 5.12).

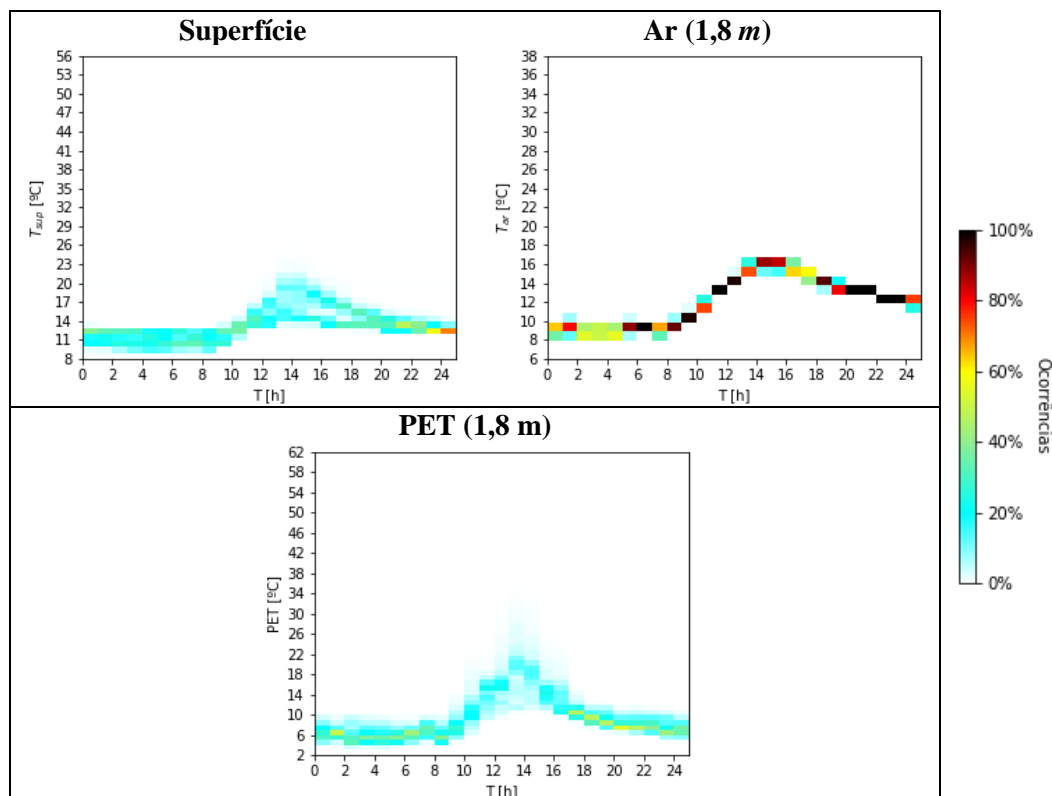


Figura 5.12: Temperaturas horárias do cenário base de Entrecampos, no inverno.

Através da comparação entre a Figura 5.12 e a Figura 5.2 (apresentada na secção 5.1.1), verifica-se que o inverno típico na zona B é bastante semelhante ao da zona A, levando, também, às mesmas conclusões.

Quanto ao grau de stress fisiológico, através da visualização da Tabela 4.13 (presente na secção 4.5.3), verifica-se que a PET mínima alcançada no verão está classificada como sendo levemente fresca tanto para o dia extremo (17 °C, às 6 h) como para o típico (17 °C, das 4 às 7 h), estando a máxima classificada como extremamente quente (50 °C, das 15 às 18 h, no dia extremo e 42 °C no dia típico). No inverno, a classificação vai de intensamente frio (5 °C, das 0 às 9 h) a levemente quente (24 °C, às 13 h), indicando que o inverno não é problemático, pelo que se negligenciou o seu estudo na implementação do projeto de urbanização.

Seguidamente, por visualização dos gráficos térmicos correspondentes à PET (Figura 5.13), averiguou-se quais as zonas onde ocorrem maiores problemas associados à ICU. A direção do vento pode ser observada nos gráficos térmicos da temperatura do ar 1,8 m acima do nível do solo presentes na Tabela B.2, na secção “Construção atual” do Anexo B.

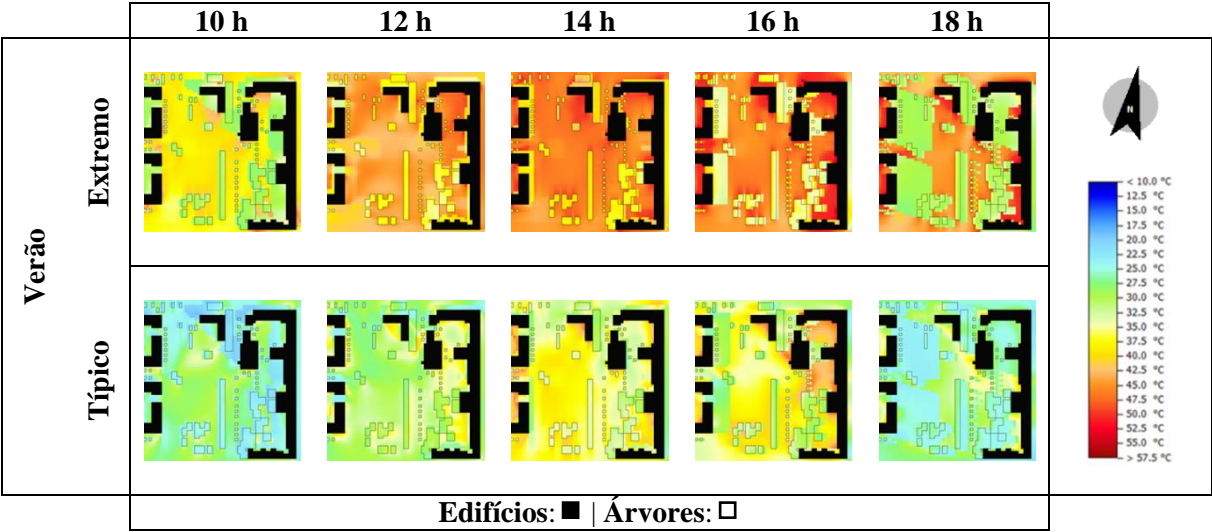


Figura 5.13: PET a 1,8 m do solo respetivo ao cenário base da área de Entrecampos.

Para o período diurno, face ao espaçamento existente entre edifícios, o centro da área tem uma PET semelhantemente distribuída, excetuando quando se inicia o período de pôr do Sol, a partir das 16 h, onde a PET é bastante inferior na zona sombreada. Na zona Este, onde se encontram os edifícios à direita, até às 10 h a PET é inferior devido ao sombreamento que os mesmos causam, no entanto, a partir daí, esta passa a ser superior face ao aprisionamento do ar junto aos mesmos.

Na secção seguinte, são apresentados os resultados da proposta apresentada para a nova urbanização para a zona B.

## 5.2.2 Urbanização planeada

Como forma a estudar o impacto que a construção futura apresentará na temperatura para a zona B, esta foi simulada para o cenário futuro, tendo como base o cenário recente (apresentado na secção anterior). As *tile plots* para a superfície, temperatura do ar e PET, com as duas últimas a uma altura de 1,8 m, são apresentados na Figura 5.14.

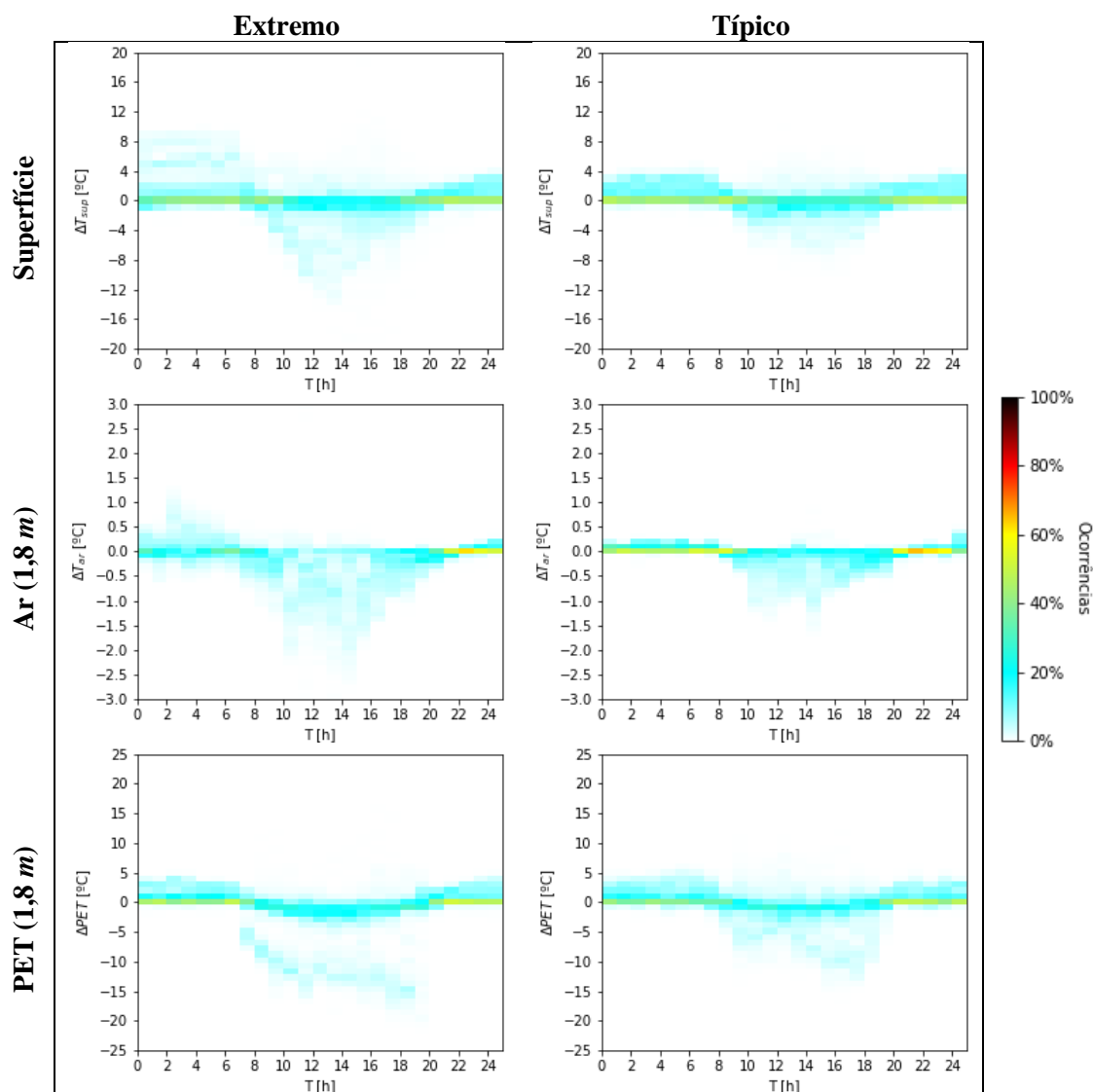


Figura 5.14: Variação das temperaturas horárias entre a implementação da medida de mitigação e o cenário base de Entrecampos, no verão.

Tanto o dia extremo como o típico de verão apresentam temperaturas mais elevadas durante o período noturno e mais baixas durante o período diurno, o que leva a um maior equilíbrio de temperaturas entre a noite e o dia.

Quanto à temperatura da superfície, no dia extremo de verão verificou-se ocorrências de aumento até às 8 h e a partir das 20 h, com valores a irem até aos 8 °C, mas com a maior parte das ocorrências até 2 °C e uma diminuição das 9 às 19 h até 10 °C. No dia típico de verão, o período foi semelhante com um incremento até 4 °C e um decremento até 5 °C.

A temperatura do ar a 1,8 m acima da superfície obteve uma diminuição no dia extremo de verão até 2,0 °C, durante o período entre as 7 e as 20 h, e até cerca de 1,2 °C no típico, das 9 às 19 h. Existiu, também, um aumento até aproximadamente 0,8 e 0,3 °C, respetivamente, no período noturno.

Por fim, verificou-se que a proposta de construção futura além de não contribuir para a ICU, ainda auxilia na sua diminuição. Foram encontradas diminuições dos valores da PET 1,8 m sob o solo das 7 às 19 h que chegam a atingir 15 °C para o dia extremo e 12 °C para o típico de verão. Em termos de aumento no período noturno, esta não ultrapassa os 5 °C.

Foi, também, executada uma análise mais detalhada para a PET durante o período diurno. Para isso, foram analisados os gráficos térmicos das 10 às 18 h, com intervalo de 2 h, conforme demonstrado na Figura 5.15.

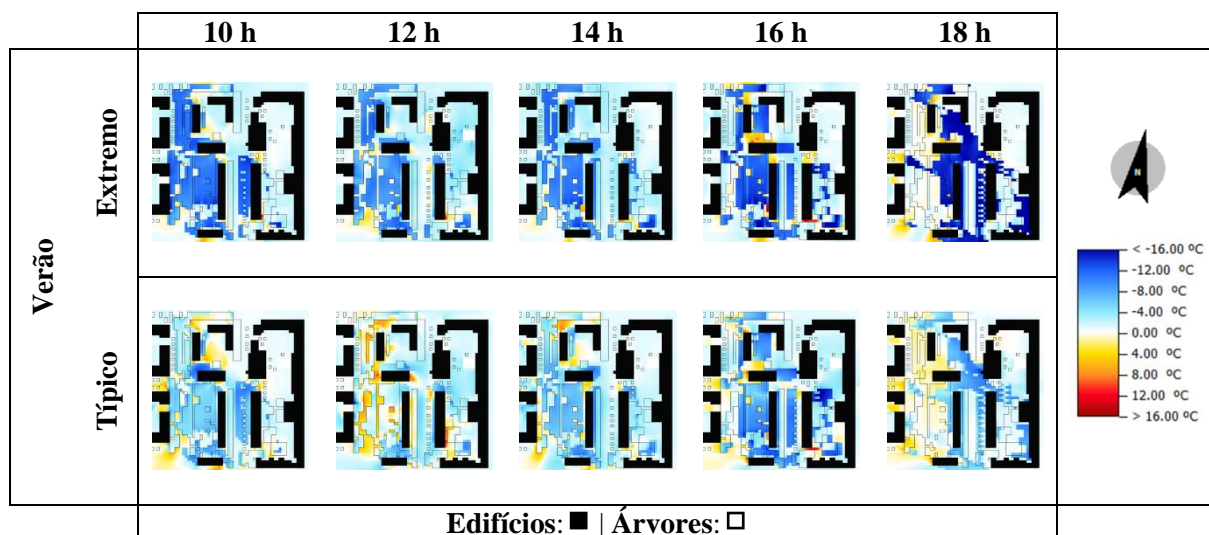


Figura 5.15: Variação da PET a 1,8 m entre a nova construção e o cenário base de Entrecampos.

Por visualização da figura anterior, verificou-se que a diminuição da PET se deve muito ao sombreamento proporcionado pelas árvores. É de salientar que poderá ocorrer um aumento na PET entre árvores no Oeste da área, conforme demonstrado às 12 h do dia de verão típico, face a esta ser uma zona onde é criada uma barreira ao vento, aprisionando o ar, e de a radiação solar incidir sobre a mesma.

Para evitar o cenário descrito, sugere-se que as novas árvores fossem plantadas em eixos paralelos entre si, criando um corredor de transporte de ar. O mesmo é aplicável na zona mais a Noroeste, onde, também, foi simulado um aumento da PET associado ao efeito barreira existente até às 14 h do dia típico e a partir das 16 h do extremo de verão. Pegando no gráfico térmico das 12 h do dia de verão típico, a sugestão passa pela não introdução das árvores assinaladas na Figura 5.16.

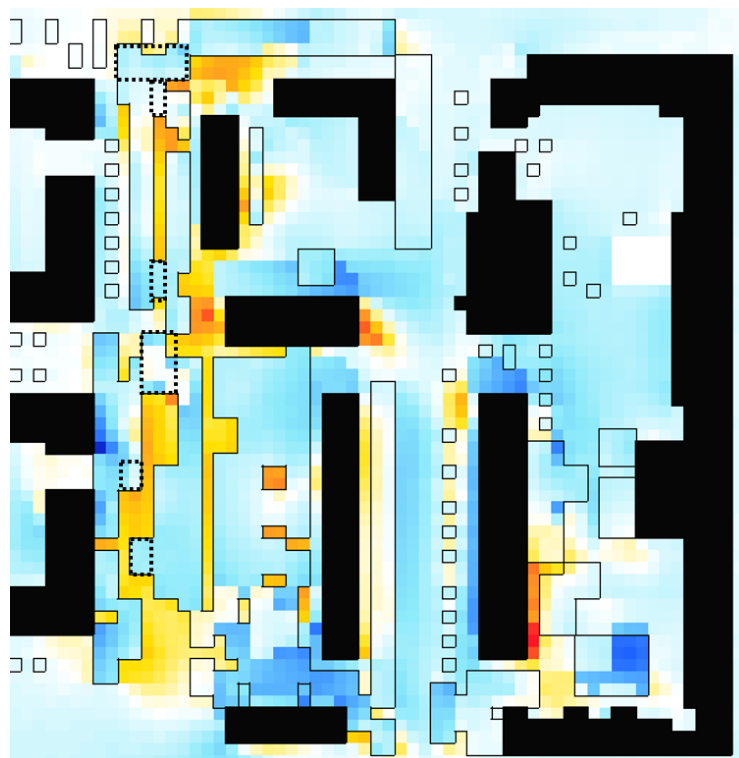


Figura 5.16: Sugestão de não plantação das árvores na área de Entrecampos (representada em retângulos de pontos).

Os resultados anteriormente abordados poderão sofrer alterações profundas com a mudança do material utilizado na construção. Cores mais escuras e materiais com propriedades térmicas superiores poderão diminuir os impactos térmicos causados pelos mesmos, enquanto que o contrário poderá ser benéfico.

De relembrar que não foi tido em conta o tráfego automóvel neste estudo, uma vez que o objetivo foi apenas verificar o impacto da nova construção, independentemente da transição automóvel atualmente em curso na Área Metropolitana de Lisboa. Se este tivesse sido levado em consideração, os resultados deste estudo tornar-se-iam inconclusivos.



## 6 Conclusões do estudo da ilha de calor urbano

As altas temperaturas existentes nos centros urbanos podem ser causadas por vários fatores, nomeadamente a atividade da população, a pouca ou nenhuma existência de vegetação, o uso de materiais com baixo albedo e do efeito barreira que a infraestrutura urbana provoca para com o vento. Este aumento de temperatura pode causar impactos negativos na vida dos residentes, sendo que os mais relevantes incluem aspetos de saúde, sociais e económicos.

Durante a realização deste estudo não foi tido em conta o estudo da ilha de frio urbano uma vez que, através da análise das PET absolutas obtidas para o clima recente, as áreas da Alta de Lisboa (zona A) e de Entrecampos (zona B) apresentam um grau de stress térmico de moderadamente frio a levemente quente durante o dia, não constituindo um índice elevado de perigo para a saúde da população.

Através das análises efetuadas às áreas de estudo, verificou-se que ambas as zonas sofrem problemas de ilha de calor urbano, sendo o mais grave na segunda zona. Este capítulo foi dividido entre as duas áreas, iniciando pela zona A.

### 6.1 Alta de Lisboa

Todas as árvores presentes na zona A foram consideradas como sendo Tília de folhas grandes. Esta simplificação não leva a uma alteração significativa na temperatura, uma vez que, também devido à escassa informação acerca das árvores, as suas características são semelhantes.

Foram analisadas três medidas de forma estratégica e atendendo às alterações possíveis de serem executadas no domínio público, sendo estas a colocação de: um lago próximo aos edifícios; um parque com lago, relva e árvores no mesmo local; e a pintura do asfalto das estradas existentes para a cor branca. Chegou-se à conclusão que o lago seria a melhor medida a ter em conta para a diminuição do efeito da ilha de calor urbano da área a curto prazo devido a ser a medida que melhor reduz a PET na sua área de atuação, apesar do maior custo associado.

Foi, também, realizado um estudo, com a medida final escolhida, para o clima de 2100 de modo a verificar se esta levaria a que o aumento de temperatura do ar no período diurno fosse inferior ao expectável comparativamente à atualidade, o que se verificou em dias de calor extremo, mas não em dias de verão típico. De notar que não se teve em conta nem o tráfego automóvel, nem o crescimento das árvores, fatores estes que influenciariam os resultados, pode-se afirmar que os resultados foram satisfatórios, pelo que o lago seria uma medida a longo prazo a ser implementada para o curto espaço de terreno existente. Aliada ao lago, seria benéfica a implementação de uma medida que levasse à diminuição da temperatura tanto da estrada como da PET no seu alcance, a qual a pintura a branco do asfalto não se verificou custo-benéfica.

## 6.2 Entrecampos

Na zona B foi analisada uma proposta de projeto para uma nova construção na área, tendo como objetivo averiguar se esta não levaria a um maior do efeito de ilha de calor urbano. Efetuada a análise, concluiu-se que a sugestão apresentada contribuiria para um maior conforto térmico da população, ao mesmo tempo que levaria ao incremento da densidade populacional na zona.

No entanto, a proposta poderia ser ainda mais benéfica com a não plantação de algumas árvores, como forma a favorecer a circulação de vento. Estas árvores levariam ao aprisionamento de ar em determinadas zonas, levando ao aumento da PET nesse local devido, sobretudo, à radiação solar incidente. O seguimento desta sugestão levaria à inexistência deste efeito barreira.

## 7 Captura de CO<sub>2</sub>

### 7.1 Introdução

Inicia-se a presente secção com o contexto referente ao estudo da captura de CO<sub>2</sub> por parte das árvores urbanas, sucessivo dos seus objetivos e, no final, da estruturação referente ao capítulo.

#### 7.1.1 Contexto

O CO<sub>2</sub> é o gás de efeito de estufa (GEE) com maior presença na atmosfera. Os GEE são importantes para que o planeta Terra seja habitável para as espécies existentes devido a aprisionarem o calor recebido pela radiação solar. No entanto, a concentração de GEE tem vindo a subir drasticamente devido a atividades antropogénicas, sobretudo à queima de combustíveis fósseis e à desflorestação. Este aumento leva a que as temperaturas médias existentes no planeta subam, assim como à ocorrência mais frequente de fenómenos de climas extremos (Nunez, 2019).

Como forma a atingir a neutralidade carbónica proposta pela União Europeia e de não ultrapassar os 1,5 °C (ou, na pior das hipóteses, 2,0 °C) de temperatura média do ar na baixa atmosfera acima da registada no período pré-industrial, foi definido que, em 2030, os níveis de emissões de GEE da economia dos estados-membros deverão ser de, pelo menos, -40 % relativamente aos níveis de 1990. No caso de Portugal, foi estabelecido que, tendo como base os valores de 2005, a diminuição deve ser de 30 a 40 % em 2030 (RNC2050, 2019).

As árvores são uma forma de manter os níveis de CO<sub>2</sub> num patamar aceitável e seguro para a vida na Terra através do processo de fotossíntese, além de ser uma solução natural e de baixo custo económico, comparativamente com soluções de captura de CO<sub>2</sub> antropogénicas. É, por isso, importante a conservação das florestas existentes e a plantação de novas árvores de forma estratégica para maximizar a sua eficiência.

#### 7.1.2 Objetivo

Este estudo teve como objetivo a **determinação do potencial de captura de CO<sub>2</sub> pelas árvores** atualmente existentes nas duas áreas de estudo abordadas no estudo da mitigação da ICU. Neste foi incluído o tráfego automóvel, uma vez que é das principais fontes de emissões de GEE nos centros urbanos.

#### 7.1.3 Estrutura

Inicia-se este capítulo da dissertação com uma descrição da importância que as árvores têm nos centros urbanos, sendo que grande parte já tinha sido abordada no estudo referente à mitigação da ICU.

De seguida, aborda-se como foi realizada a revisão da literatura. Foram encontrados estudos sobre o potencial de sequestro de CO<sub>2</sub> por parte das árvores em algumas cidades europeias de países próximos a Portugal (Espanha, Itália e Suíça), da capital portuguesa e, também, dos Estados Unidos. Também se recolheram informações sobre as emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos por categoria.

Seguidamente são apresentados os resultados do potencial de sequestro do CO<sub>2</sub> total e por árvore anualmente e semestralmente das árvores atualmente existentes. Foi, também, realizada a respetiva discussão.

Por último, foram tiradas as conclusões do estudo realizado.

De salientar que a metodologia deste estudo encontra-se apresentada na secção 4.7, onde são abordados o tráfego automóvel, as emissões de CO, NO<sub>x</sub> e PM dos veículos e a concentração de poluentes na atmosfera das áreas de estudo.

## 7.2 Importância das árvores

Alguns dos benefícios que as árvores proporcionam nos centros urbanos encontram-se descritos no estudo da mitigação da ICU, presentes nas secções 2.3.6 e 2.4.

Conforme é demonstrado no esquema da Figura 7.1, as árvores são capazes de armazenar o carbono proveniente do CO<sub>2</sub> existente na atmosfera na sua madeira através do processo de fotossíntese. No entanto, este carbono pode ser libertado em caso da queima ou da decomposição desta madeira. Quanto mais velhas as árvores, mais carbono é armazenado (Ontario, 2016).

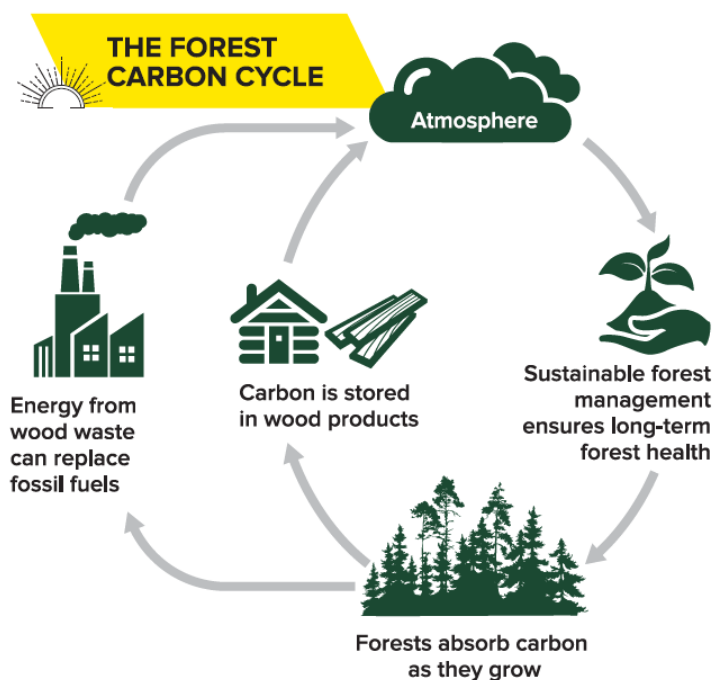


Figura 7.1: Importância das árvores e exemplos de aplicação (Ontario, 2016).

### 7.3 Revisão da literatura

O objetivo da revisão da literatura foi a recolha de informação extra face à realizada no âmbito do estudo da ICU. São abordados temas referentes ao CO<sub>2</sub> sequestrado pelas árvores em algumas cidades e às emissões dos automóveis.

Conforme discutido no estudo da mitigação da ICU (secção 3), a criação de espaços verdes é uma das categorias de medidas com maior implementação em centros urbanos, uma vez que permite não só a diminuição da temperatura a níveis baixos da atmosfera, como também a diminuição da poluição e dos gases de GEE existentes na mesma.

Foram recolhidos alguns resultados de estudos sobre o potencial de captura anual do CO<sub>2</sub> das árvores urbanas em algumas cidades europeias de países próximos a Portugal, dos Estados Unidos e um estudo em Lisboa, os quais se encontram apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1: Potencial de sequestro de CO<sub>2</sub> por parte das árvores urbanas anualmente em cidades europeias.

País	Cidade	CO <sub>2</sub> sequestrado [kg árvore <sup>-1</sup> ]	Bibliografia
Espanha	Barcelona	3,82	(Chaparro & Terradas, 2009)
Estados Unidos	Atlanta	3,42	(Nowak & Crane, 2002)
	Baltimore	3,81	
	Boston	5,83	
	Filadélfia	5,06	
	Jersey City	4,41	
	Nova Iorque	3,99	
	Syracuse	3,92	
Itália	Bolzano	13,91*	(Russo et al., 2014)
	Florença	9,79	(Paoletti, Bardelli, Giovannini & Pecchioli, 2011)
	Pádua	12,84	(Crema, 2008)
Portugal	Lisboa	43,06	(Soares et al., 2011)
Suíça	Zurique	21,83*	(Wälchli, 2012)
* Média dos modelos utilizados (3 para Bolzano e 2 para Zurique)			

Através da análise da tabela anterior, verifica-se que Lisboa tem um potencial de sequestro de CO<sub>2</sub>, por árvore, superior ao das restantes cidades analisadas. Este facto pode dever-se a vários fatores, tais como a idade, a densidade da madeira e a espécie das árvores, assim como a sua tolerância ao stress urbano. São também fatores importantes o planeamento estratégico em locais urbanos com limitações de espaço (Scharenbroch, 2011) e o seu clima.

Como forma a descobrir a razão existente entre o CO<sub>2</sub> emitido pela mobilidade urbana e o capturado pelas árvores, foi recolhida a informação registada da média de CO<sub>2</sub> emitido por tipo de veículo para o Reino Unido (BEIS, 2019). No caso dos veículos comerciais pesados (HDV) esta informação não se encontrava disponibilizada, pelo que se considerou um valor por estimativa para a União Europeia (Ambel, 2015). Esta informação foi registada na Tabela 7.2.

Tabela 7.2: Emissões de CO<sub>2</sub> por categoria de veículo (BEIS, 2019; Ambel, 2015).

Tipo	PC	LDV	HDV	Bus	Coaches	MC
CO <sub>2</sub> emitido [g km <sup>-1</sup> veículo <sup>-1</sup> ]	145,0	258,1	900,0	1271,9	479,0	116,7

## 7.4 Resultados e discussão

Nesta secção são tratados todos os resultados obtidos para o estudo referente ao sequestro de CO<sub>2</sub> por parte das árvores existentes nas zonas A e B em análise.

A captura de CO<sub>2</sub> por parte da vegetação é simulada no ENVI-met baseando-se no modelo no modelo A-g<sub>s</sub> (Jacobs, 1994), onde o uso de água é balanceado com a assimilação do CO<sub>2</sub> por parte da vegetação, maximizando o ganho de CO<sub>2</sub> e minimizando a perda de água (Simon, 2016).

Face à elevada resolução existente nos modelos das duas áreas estudadas em relação à altura (3 m para a zona A e 2 m para a zona B), foi realizada uma interpolação que foi, no caso, a cada 0,2 m, até aos 70 m de altura, como forma a atenuar graficamente a transição entre as diferentes alturas nas *tile plots* referentes à captura de CO<sub>2</sub> estimada por parte das árvores (Figura 7.2).

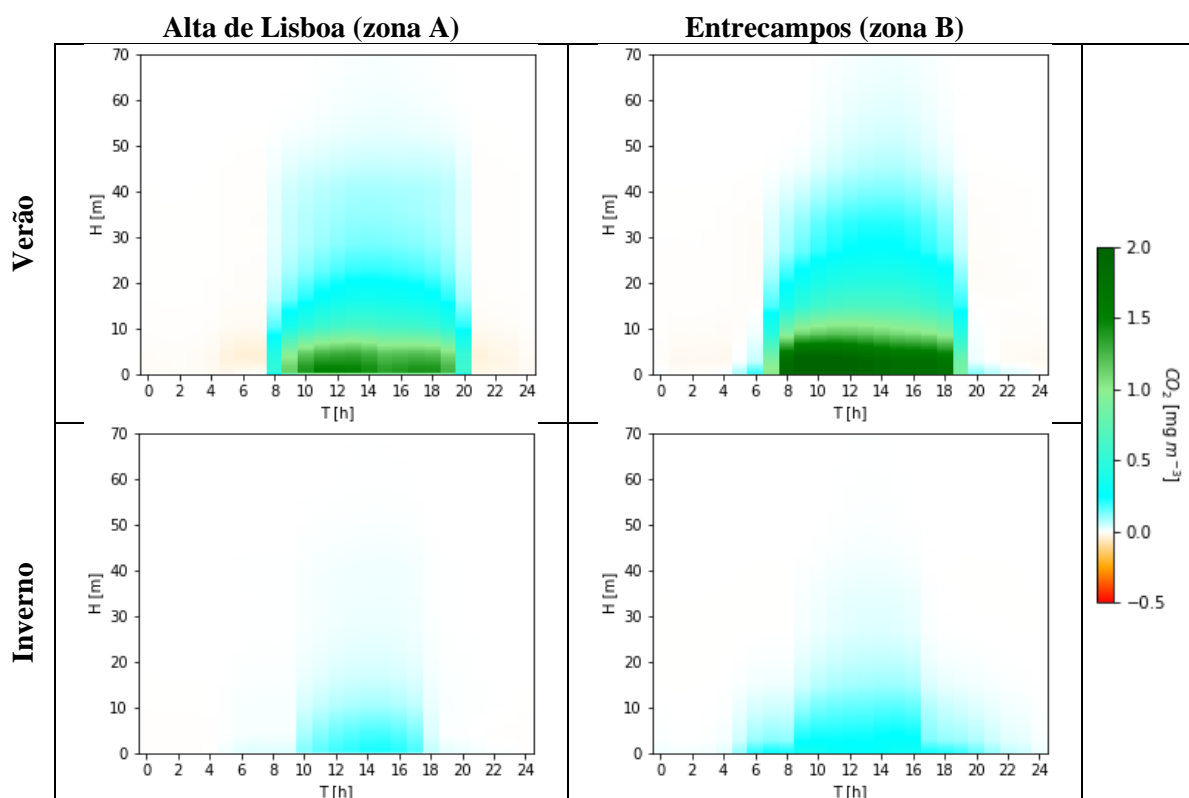


Figura 7.2: Captura horária estimada de CO<sub>2</sub> de todas as árvores.

Como observado na figura anterior, as árvores da zona B contribuem para uma maior captura do CO<sub>2</sub> que as da zona A. Este é um facto que seria de esperar, visto que a zona B apresenta um maior volume de tráfego automóvel.

Posteriormente, dividiram-se os dados obtidos pelo número de árvores das áreas (454 na Alta de Lisboa e 106 em Entrecampos) como forma a descobrir qual a estimativa horária de captura de CO<sub>2</sub> média por árvore. As representações gráficas foram exibidas na Figura 7.3.

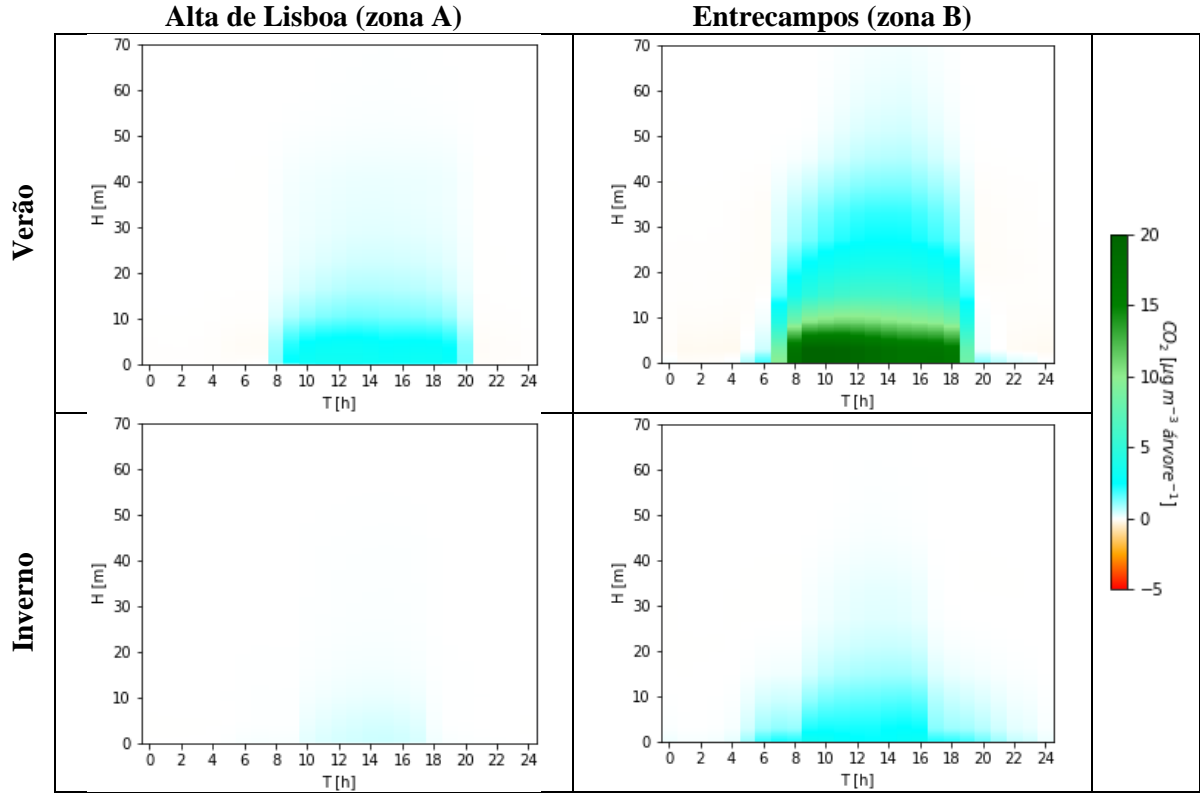


Figura 7.3: Captura horária estimada de CO<sub>2</sub>, por árvore.

Através da observação da Figura 7.3 verifica-se que as árvores na Zona B contribuem para uma maior redução da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que comprova que os automóveis a gasolina e a diesel contribuem para um aumento do CO<sub>2</sub> nos centros urbanos, levando ao agravamento de situações de ICU nos mesmos.

De seguida, realizou-se o cálculo da captura de CO<sub>2</sub> anual das árvores, considerando, em média, 6 meses de dia de verão típico e os restantes típicos de inverno. Foi, para o efeito referido, utilizada a Equação (7.1).

$$C = \left( \left( \int_0^{24} \int_0^{70} c \, dH \, dT \right)_{Verão} + \left( \int_0^{24} \int_0^{70} c \, dH \, dT \right)_{Inverno} \right) R_X R_Y \frac{365}{2} 10^{-12} \quad (7.1)$$

Sendo a variável  $C$  correspondente ao CO<sub>2</sub> anual capturado pelas árvores (em t),  $c$  ao mesmo mas por tempo ( $T$ , em h) e por altura ( $H$ , a cada 0,2 m) (em µg m<sup>-3</sup>),  $R_X$  e  $R_Y$  à escala de cada célula do modelo (em m),  $\frac{365}{2}$  ao número médio de dias existentes em 6 meses (considerando um ano comum) e  $10^{-12}$  à conversão de unidade de µg para t.

Anualmente, estimou-se que as árvores representam uma captura de CO<sub>2</sub> total de 2,2 t ano<sup>-1</sup> para a zona A e de 4,0 t ano<sup>-1</sup> para a zona B. Cada árvore da zona A captura, em média, 4,9 kg ano<sup>-1</sup>, enquanto que na zona B este valor é bastante superior, face à maior emissão de CO<sub>2</sub> por parte do tráfego automóvel, sendo este de 37,8 kg ano<sup>-1</sup>.

Para descobrir quantos veículos as árvores suportam foram necessários dois passos sequenciais.

O primeiro passo foi descobrir a distância média percorrida por veículo diariamente em cada zona. Para o caso da zona A, 3650 viaturas percorrem 868 m de estrada principal e 248 um espaço de 440 m de arruamentos, totalizando uma média de 841 m percorridos por veículo. Já na zona B apenas existe uma estrada com 236 m de extensão.

No segundo, realizou-se a multiplicação entre a distância média percorrida ( $D$ , em  $m$ ), a média de emissões de  $\text{CO}_2$  considerada ( $e_V$ ,  $273,3 \text{ g km}^{-1}$ ), descrito na secção 4.7 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, e o número de dias num ano (365) como forma a descobrir as emissões libertadas por cada viatura anualmente ( $E_V$ , em  $\text{kg}$ ). A Equação (7.2) demonstra, matematicamente, o descrito.

$$E_V = D e_V 365 \quad (7.2)$$

Realizado o cálculo, verificou-se que cada automóvel que circula na zona A emite  $83,9 \text{ kg}$  de  $\text{CO}_2$  por ano. No caso da zona B, este valor diminui para  $23,5 \text{ kg}$  de  $\text{CO}_2$  anuais.

Sabendo o potencial de captura do  $\text{CO}_2$  das árvores nos 6 meses de verão e nos de inverno, realizaram-se, também, os mesmos cálculos para os semestres de verão e de inverno considerados, adotando apenas a mudança no número de dias para  $182,5$  na Equação (7.2), estando os resultados apresentados na Tabela 7.3. De salientar que o tráfego automóvel foi assumido como sendo igual no verão e no inverno.

Tabela 7.3: Resultados obtidos para as emissões de  $\text{CO}_2$  das viaturas ( $E_V$ ) e potencial de captura de  $\text{CO}_2$  das árvores ( $E_A$ ).

	Verão		Inverno		Anual	
	$E_V [\text{kg}]$	$E_A [\text{kg}]$	$E_V [\text{kg}]$	$E_A [\text{kg}]$	$E_V [\text{kg}]$	$E_A [\text{kg}]$
<b>Alta de Lisboa</b>	41,9	4,5	41,9	0,4	83,9	4,9
<b>Entrecampos</b>	11,8	33,5	11,8	4,2	23,5	37,8

Estimou-se que o potencial de captura de  $\text{CO}_2$ , por árvore, na zona A é bastante inferior ao da zona B, apesar das maiores emissões de  $\text{CO}_2$ , por automóvel. A fraca neutralização por parte das árvores na zona A deve-se:

- sobretudo a muitas destas se encontrarem sombreadas pela infraestrutura urbana durante grande parte do dia, o que diminui a eficiência da fotossíntese;
- à diferença entre espécies existente; da distância percorrida por automóvel ser muito superior (3,6 vezes maior) relativamente à da zona B;
- e da existência de uma maior concentração de árvores (aproximadamente,  $0,103 \text{ árvores m}^{-2}$  na zona A, para  $0,017 \text{ árvores m}^{-2}$  na zona B);

Como seria expectável, durante o verão as árvores têm um contributo bastante superior para a diminuição do  $\text{CO}_2$  existente na atmosfera que no inverno.

Para o segundo estudo, considerou-se uma total ausência da mobilidade rodoviária e as condições atmosféricas idênticas ao estudo da mitigação da ICU, com os cálculos a serem idênticos ao do estudo com carros.



Esta análise teve como propósito verificar o erro associado à eliminação do CO<sub>2</sub> e à alteração da velocidade do vento para 2,0 m s<sup>-1</sup>, uma vez que não foi possível a simulação dos automóveis com a velocidade do vento utilizada no estudo da mitigação da ICU face a limitações no *software* ENVI-met. No caso, tais definições causaram uma elevada turbulência nas condições atmosféricas, o que levou a um erro crítico na simulação e, consequentemente, à impossibilidade de realização das simulações.

Os resultados do potencial de captura de CO<sub>2</sub> total por parte das árvores anual e semestral para ambas as investigações estão registados na Tabela 7.4.

Tabela 7.4: Potencial de captura de CO<sub>2</sub> total (E<sub>T</sub>) e por árvore (E<sub>A</sub>).

		<b>Alta de Lisboa (zona A)</b>		<b>Entrecampos (zona B)</b>	
		<b>E<sub>T</sub> [t]</b>	<b>E<sub>A</sub> [kg]</b>	<b>E<sub>T</sub> [t]</b>	<b>E<sub>A</sub> [kg]</b>
<b>Verão</b>	<b>Com carros</b>	2,0	4,5	3,6	33,5
	<b>Sem carros</b>	2,0	4,4	3,7	34,6
<b>Inverno</b>	<b>Com carros</b>	0,2	0,4	0,4	4,2
	<b>Sem carros</b>	0,4	0,8	0,6	6,0
<b>Anual</b>	<b>Com carros</b>	2,2	4,9	4,0	37,8
	<b>Sem carros</b>	2,4	5,3	4,3	40,7

Conforme verificado, não existe um grande erro associado durante o verão (utilizando o estudo com carros como referência: -2,2 % para a zona A e +2,7 % para a zona B), no entanto ocorrem grandes discrepâncias durante o inverno (+200,0 % e +42,9 %, respetivamente). Quanto aos valores anuais, existe um grau de erro baixo, no entanto não desprezável, com +8,2 % na zona A e +7,7 % na zona B.

## 7.5 Conclusões

Neste estudo abordou-se a temática da quantidade de CO<sub>2</sub> capturado pelas árvores urbanas nas mesmas áreas de estudo relativos ao objetivo da análise de medidas de mitigação da ilha de calor urbano, sendo estas na Alta de Lisboa (zona A) e em Entrecampos (zona B).

Verificou-se que, como seria de esperar devido a ser uma zona com maiores índices de poluição face ao maior tráfego automóvel existente, as árvores na zona B têm um maior efeito na captura de CO<sub>2</sub> que as da zona A. Anualmente, e tendo em conta o CO<sub>2</sub> emitido pelas árvores através do processo de respiração, estimou-se que cada árvore da zona A contribui para a eliminação 4,9 kg de CO<sub>2</sub> da atmosfera, totalizando 2,2 t, enquanto que na zona B este valor sobe aos 37,8 kg, o que representa 4,0 t de CO<sub>2</sub> atmosférico capturado.

No entanto, se se tiver em conta o número médio de viaturas cujo as árvores são capazes de neutralizar o CO<sub>2</sub> libertado pelos mesmos anualmente, existe uma enorme discrepância entre as áreas devido às características existentes. Cada 1000 árvores têm o potencial de neutralizar as emissões de 58 viaturas na zona A e de 1606 para a zona B. A menor quantidade de luz solar obtida durante o dia, o número inferior de automóveis e a percorrerem maiores distâncias e a menor concentração de árvores existente na zona A são alguns dos fatores determinantes para uma tão fraca taxa de neutralização do CO<sub>2</sub> emitido pelas viaturas no centro urbano.

Como nota, foi detetada uma limitação no *software* ENVI-met quando utilizada uma elevada velocidade do vento e uma alta concentração de poluentes num modelo de simulação, levando à sua impossibilidade de execução da simulação devido a um erro crítico de alta turbulência na atmosfera. Para ultrapassar este problema foi utilizada uma velocidade de vento baixa (no caso, 2,0 m s<sup>-1</sup>).

## 8 Conclusões gerais

Devido à ilha de calor urbano existente em várias cidades do município de Lisboa e aos problemas associados, é importante a análise de medidas como forma a mitigar este efeito. Neste estudo foram analisadas duas áreas, uma na Alta de Lisboa (zona A) e a outra em Entrecampos (zona B).

Na zona A, foram abordadas três medidas de mitigação da ilha de calor urbano – implementação de um lago junto aos edifícios; de um parque com lago, relva e árvores no mesmo local; e a pintura do asfalto das estradas a branco – tendo em atenção a existência de propriedade privada. Através de uma análise térmica do clima recente e de 2100, assim como do custo monetário associado, chegou-se à conclusão que o lago seria a melhor medida a ser implementada. No entanto, seria benéfico a implementação de uma outra medida, em conjunto com a escolhida, de forma a diminuir a temperatura das estradas e, conseqüentemente, da PET no seu alcance, a qual a pintura a branco do asfalto não foi satisfatória.

É importante realçar a incerteza que estudos relativos ao futuro têm, uma vez que se considerou que a zona A, em 2100, só sofrerá uma alteração (a implementação do lago). Nos próximos 80 anos, é improvável que não existam mais modificações na área, pelo que este estudo deverá ser apenas tido em conta como uma referência relativa ao ano de 2020, sendo importante a sua reformulação com base na transformação futura da mesma.

Na zona B, averiguou-se qual o impacto que uma proposta de projeto para uma nova construção teria no conforto térmico da área, concluindo-se que levaria a um grande aumento do mesmo. No entanto, o projeto poderia ser ainda mais benéfico caso não se plantassem algumas das árvores que foram referidas no final da secção 5.2.2.

Durante o estudo, verificou-se que a falta de um bom planeamento pode levar a que as supostas medidas de minimização da ilha de calor urbano contribuam para o seu agravamento. Um exemplo foi o efeito barreira ao vento por parte das árvores, o que leva ao aprisionamento do ar numa determinada área. Outro exemplo foi a pintura do asfalto a branco, apesar de contribuir para uma diminuição da temperatura do solo e do ar, esta aumenta a PET devido à reflexão da radiação solar existente.

De notar que não foi realizado um estudo referente à ilha de frio urbano, uma vez que o município de Lisboa está longe de sofrer deste tipo de problema. No entanto, existem problemas relacionados com pobreza energética em alguns grupos sociais existentes.

Para as mesmas duas zonas, foi estimada a captura de CO<sub>2</sub> por parte das árvores existentes. Face às características das mesmas e ao respetivo tráfego automóvel, as árvores existentes na zona A têm um potencial de sequestro muito inferior relativamente às da zona B, com uma equivalência, a cada 1000 árvores, de 58 para 1606 automóveis.

Ambos os tipos de estudos realizados são importantes fontes estratégicas para a melhoria da qualidade de vida da população residente, assim como para o valor económico e ambiental das regiões afetadas. Seria, por isso, importante a sua análise, e posterior execução, em cidades cujo problema associado à ilha de calor urbano e/ou à poluição urbana tenha níveis elevados.

## 9 Trabalho futuro

Neste último capítulo são sugeridos alguns trabalhos a serem realizados no futuro como forma a esclarecer algumas dúvidas que surgiram e facilitar a recolha, e com maior fiabilidade, da informação necessária para futuros projetos similares.

O primeiro seria a validação da informação fornecida pela simulação realizada pelo ENVI-met para o modelo base (clima e construção atuais), o qual não foi realizada neste trabalho devido à falta de aparelhos de medição, nomeadamente da temperatura do ar (e/ou da PET), bem como da do solo. Esta medida servirá para aumentar o grau de fiabilidade dos resultados obtidos em estudos relacionados com a temperatura em meio urbano. Poderia ser efetuado o mesmo relativamente à captura de CO<sub>2</sub> por parte de uma amostra de árvores, com o mesmo objetivo.

Quanto à recolha dos elementos construtivos, foi muito complicado arranjar toda a informação necessária (havendo mesmo alguma que foi por consideração com materiais com características semelhantes). Se a informação dos materiais de construção fosse mais transparente, os resultados destes tipos de estudo poderiam ser beneficiados.

Relativamente à vegetação, sugere-se que em futuros trabalhos fossem analisadas as diversas propriedades referentes às árvores existentes em determinadas regiões. Na revisão literária realizada, apenas foi encontrada informação acerca de quais são as árvores existentes e da altura (esta última através do *software* Google Earth), com muito pouca informação encontrada acerca das propriedades das árvores.

Apesar de existirem projeções de aumento da temperatura do ar para o futuro, poderiam ser realizados estudos como forma a verificar a relação matemática aproximada que este incremento tem com a temperatura do solo e com a PET, tendo em conta a dependência com vários elementos, como espaço, materiais, vegetação, radiação solar, refletividade, etc. No estudo referente à zona A não foi possível concluir se o aumento da temperatura do solo e da PET da atualidade para 2100 eram aceitáveis.

Relativamente ao tráfego automóvel em Lisboa, sugere-se a criação de um novo registo. O projeto fornecido pela CML, Direção Municipal da Mobilidade, Divisão de Estudos e Planeamento da Mobilidade, apesar de não ter corrido bem, tem um objetivo muito interessante para quem quer realizar estudos relativamente aos índices de poluição de ar que os automóveis possam provocar.

Se os dados dos automóveis registados e atualmente em circulação em Portugal fossem tornados públicos, seria uma mais valia para os tipos de estudo referidos no parágrafo anterior. Devido a esta falta de informação, neste estudo foram considerados os dados relativos ao Reino Unido.

## 10 Referências bibliográficas

- Abderrahim, K., Lafifi, M., Ibrahim, Y., & Samad, A. (2018-2019). RE: What are the available simulation software for outdoor climate modeling and urban forms assessment ( micro climate scale) ?. Retrieved 30 January 2020, from [https://www.researchgate.net/post/What\\_are\\_the\\_available\\_simulation\\_software\\_for\\_outdoor\\_climate\\_modeling\\_and\\_urban\\_forms\\_assessment\\_micro\\_climate\\_scale](https://www.researchgate.net/post/What_are_the_available_simulation_software_for_outdoor_climate_modeling_and_urban_forms_assessment_micro_climate_scale)
- ABNT. (2003). *Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações* (pp. 8-10). Rio de Janeiro: ABNT. Retrieved from [http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica\\_parte2\\_SET2004.pdf](http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte2_SET2004.pdf)
- Achour-Younsi, S., & Kharrat, F. (2016). Outdoor Thermal Comfort: Impact of the Geometry of an Urban Street Canyon in a Mediterranean Subtropical Climate – Case Study Tunis, Tunisia. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 216, 689-700. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.12.062
- AFNOR. (2010). *NF DTU 52.1 P1-1* (p. 17). Paris: AFNOR. Retrieved from <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-dtu-521/travaux-de-batiments-revetements-de-sol-scelles-partie-1-1-cahier-des-clauses-techniques-types-partie-1-2-cahier-des-criteres-ge/article/756036/fa170828>
- Akbari, H. (2005a). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation, 1-19. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/4qs5f42s>
- Akbari, H. (2005b). Potentials of urban heat island mitigation. *International Conference Passive And Low Energy Cooling For The Built Environment*, 11-22. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/254744057\\_Potentials\\_of\\_urban\\_heat\\_island\\_mitigation](https://www.researchgate.net/publication/254744057_Potentials_of_urban_heat_island_mitigation)
- AKI. (2020). Semente de Relva Universal Geolia. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.aki.pt/jardim/manutencao-do-jardim/sementes/relva/relva-universal/sementederelvauniversal-p35240.aspx>
- Alcoforado, M., Lopes, A., Andrade, H., & Vasconcelos, J. (2005). *Orientações Climáticas para o Ordenamento em Lisboa* (pp. 60-61). Lisboa: Universidade de Lisboa. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/262567483\\_Orientacoes\\_Climaticas\\_para\\_o\\_Ordenamento\\_em\\_Lisboa](https://www.researchgate.net/publication/262567483_Orientacoes_Climaticas_para_o_Ordenamento_em_Lisboa)
- All Pro A/C and Heating. (2018). How Does An AC Unit Work?. Retrieved 29 January 2020, from <https://www.allpro-ac.com/2018/09/how-does-an-ac-unit-work/>
- Ambel, C. (2015). Too big to ignore - truck CO2 emissions in 2030, 2. Retrieved from [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2015%2009%20TE%20Briefing%20Truck%20CO2%20Too%20big%20to%20ignore\\_FINAL.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2015%2009%20TE%20Briefing%20Truck%20CO2%20Too%20big%20to%20ignore_FINAL.pdf)
- Aram, F., Solgi, E., Higuera Garcia, E., Mosavi, A., & R. Varkonyi-Koczy, A. (2019). The Cooling Effect of Large-Scale Urban Parks on Surrounding Area Thermal Comfort. *Energies*, 12(20), 3904-3924. doi: 10.20944/preprints201909.0155.v1
- Área Metropolitana de Lisboa. (2016). *Plano de Ação de Mobilidade Urbana Sustentável da Área Metropolitana de Lisboa – Vol. II - Anexos* (pp. 2-27). Retrieved from [http://www.app.com.pt/wp-content/uploads/2016/06/PAMUS\\_AML-vers%C3%A3o-final-Vol-II-Anexos.pdf](http://www.app.com.pt/wp-content/uploads/2016/06/PAMUS_AML-vers%C3%A3o-final-Vol-II-Anexos.pdf)

Área Metropolitana de Lisboa. (2019). Conheça os novos passes, a vigorar a partir de abril de 2019. Retrieved 31 July 2020, from [https://www.aml.pt/index.php?cp=COMPONENT\\_NEWS&sr=SUS5C8C1505F0421&item=](https://www.aml.pt/index.php?cp=COMPONENT_NEWS&sr=SUS5C8C1505F0421&item=)

Arellano, B., & Roca, J. (2018). Áreas verdes e isla de calor urbana. *International Conference Virtual City And Territory*, 417-432. doi: 10.5821/ctv.8255

Asphalt Institute. (2018). Asphalt Maintenance and Rehabilitation. Retrieved 28 April 2020, from <http://www.asphaltinstitute.org/engineering/frequently-asked-questions-faqs/asphalt-maintenance-rehabilitation/>

Atieh, A., & Al Shariff, S. (2013). Solar energy powering up aerial misting systems for cooling surroundings in Saudi Arabia. *Energy Conversion And Management*, 65, 670-674. doi: 10.1016/j.enconman.2011.10.031

Barrow, H., & Pope, C. (2007). Droplet evaporation with reference to the effectiveness of water-mist cooling. *Applied Energy*, 84(4), 404-412. doi: 10.1016/j.apenergy.2006.09.007

Bass, B., Krayenhoff, S., Martilli, A., & Stull, R. (2002). Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure, 5. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/254815484\\_Mitigating\\_the\\_Urban\\_Heat\\_Island\\_with\\_Green\\_Roof\\_Infrastructure](https://www.researchgate.net/publication/254815484_Mitigating_the_Urban_Heat_Island_with_Green_Roof_Infrastructure)

BBC. (2018). Photosynthesis - AQA. Retrieved 28 July 2020, from <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zs4mk2p/revision/8>

BEIS. (2019). 2019 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting: Methodology paper (pp. 53-60). Crown. Retrieved from [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/904215/2019-ghg-conversion-factors-methodology-v01-02.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/904215/2019-ghg-conversion-factors-methodology-v01-02.pdf)

Beneke, J. (2020). Cobblestone Paver Review: Pros and Cons. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.thespruce.com/pros-and-cons-of-cobblestone-paver-1398075>

Berdahl, P., & Bretz, S. (2020). Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy And Buildings*, 25(2), 149-158. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778896010043>

Bloch, S. (2019). The Problem With ‘Cool Pavements’: They Make People Hot. Retrieved 1 June 2020, from <https://www.citylab.com/environment/2019/10/cool-pavement-materials-coating-urban-heat-island-research/599221/>

Brito, M. (2020). Assessing the Impact of Photovoltaics on Rooftops and Facades in the Urban Micro-Climate. *Energies*, 13(11), 2717. doi: 10.3390/en13112717

Broll, W., Ohlenburg, J., Lindt, I., Herbst, I., & Braun, A. (2006). Meeting technology challenges of pervasive augmented reality games. In *Proceedings of 5th ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games - NetGames '06* (p. 28-es). Singapore. doi: 10.1145/1230040.1230097

Bruse, M. (2004). ENVI-met 3.0: Updated Model Overview (p. 3). Retrieved from <http://www.envi-met.net/documents/papers/overview30.pdf>

Câmara Municipal de Lisboa. (2019). Arvoredo. Retrieved 4 February 2020, from [http://geodados.cm-lisboa.pt/datasets/202d0f1a7f234e449761af8af14436d6\\_0?geometry=-9.162%2C38.745%2C-9.141%2C38.748](http://geodados.cm-lisboa.pt/datasets/202d0f1a7f234e449761af8af14436d6_0?geometry=-9.162%2C38.745%2C-9.141%2C38.748)

Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape And Urban Planning*, 96(4), 224-231. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.03.008

Capatides, C. (2018). Los Angeles is painting some of its streets white and the reasons why are pretty cool. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.cbsnews.com/news/los-angeles-is-painting-some-of-its-streets-white-and-the-reasons-why-are-pretty-cool/>

Castaldo, V., Rosso, F., Golasi, I., Piselli, C., Salata, F., & Pisello, A. et al. (2017). Thermal comfort in the historical urban canyon: the effect of innovative materials. *Energy Procedia*, 134, 151-160. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.553

Chaparro, L., & Terradas, J. (2009). *Ecological Services of Urban Forest in Barcelona* (pp. 39;45). Bellaterra: CREA. Retrieved from <https://www.itreetools.org/documents/302/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf>

Chen, J. (2020). Future Value (FV). Retrieved 27 April 2020, from <https://www.investopedia.com/terms/f/futurevalue.asp>

Cipolla, S., Maglionico, M., Semprini, G., Villani, V., & Bonoli, A. (2018). Green roofs as a strategy for urban heat island mitigation in Bologna (Italy). *Acta Horticulturae*, (1215), 295-300. doi: 10.17660/actahortic.2018.1215.54

Climate-Data.org. (2013-a). Dados climáticos para cidades mundiais. Retrieved 14 January 2020, from <https://pt.climate-data.org/>

Climate-Data.org. (2013-b). Clima Lisboa (Portugal). Retrieved 06 August 2020, from <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/lisboa/lisboa-3308/#climate-table>

Climate-fit.city. (2017). Background and objectives. Retrieved 24 April 2020, from <https://climate-fit.city/background-and-objectives/>

Climate-fit.city. (2019). *Factsheet Urban Heat data in Meteonorm 7.3.2 (May 2019/ Intersolar 2019)* (p. 2). Climate-fit.city. Retrieved from <https://climate-fit.city/wp-content/uploads/2019/05/Factsheet-Intersolar-2019.pdf>

CoastAdapt. (2017). *What are the RCPs?* (p. 1). CoastAdapt. Retrieved from <https://coastadapt.com.au/sites/default/files/infographics/15-117-NCCARFINFOGRAPHICS-01-UPLOADED-WEB%2827Feb%29.pdf>

Collepari, M. (2000). Ordinary and Long-Term Durability of Reinforced Concrete Structures. *International Concrete Abstracts Portal*, 192, 1-18. Retrieved from <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&ID=5738>

Controsol. (2018). *METALSHIELD CS 200* (p. 1). Controsol. Retrieved from [https://www.controsol.pt/imgs/produtos/ficheiros/120051\\_1\\_2027\\_cs\\_200\\_91851563452fa5842eca05.pdf](https://www.controsol.pt/imgs/produtos/ficheiros/120051_1_2027_cs_200_91851563452fa5842eca05.pdf)

Cool Parramatta. (2016). About. Retrieved 30 January 2020, from [http://coolparramatta.com.au/about\\_us](http://coolparramatta.com.au/about_us)

Corburn, J. (2009). Cities, Climate Change and Urban Heat Island Mitigation: Localising Global Environmental Science. *Urban Studies*, 46(2), 413-427. doi: 10.1177/0042098008099361

Cortes, A., Murashita, Y., Matsuo, T., Kondo, A., Shimadera, H., & Inoue, Y. (2015). Numerical evaluation of the effect of photovoltaic cell installation on urban thermal environment. *Sustainable Cities And Society*, 19, 250-258. doi: 10.1016/j.scs.2015.07.012

CostHelper. (2020). How Much Does Asphalt Removal Cost?. Retrieved 27 April 2020, from <https://home.costhelper.com/asphalt-removal.html>

Couret, D., Martínez, O., Rodríguez, V., & Castro, M. (2018). Ambiente Térmico en Espacios Exteriores en La Habana. In *19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*. La Habana. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/330542602\\_M\\_02\\_054\\_Dania\\_Gonzalez\\_Olivia\\_Sanchez\\_Victor\\_Daniel\\_Rodriguez\\_Manuel\\_Alejandro\\_Salazar\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/330542602_M_02_054_Dania_Gonzalez_Olivia_Sanchez_Victor_Daniel_Rodriguez_Manuel_Alejandro_Salazar_Cuba)

Crema, S. (2008). *Urban Forestry e Stima del Carbonio: Analisi di Linee Guida e Calcolo in Zona Urbana come Applicazione ed Opportunità per L' Università di Padova* (Tesi di Laurea). Università di Padova.

Cunha, E., Luca, F., & Mirabi, E. (2018-2019). RE: Which is the best simulation software for urban micro climates?. Retrieved 30 January 2020, from [https://www.researchgate.net/post/What\\_are\\_the\\_available\\_simulation\\_software\\_for\\_outdoor\\_climate\\_modeling\\_and\\_urban\\_forms\\_assessment\\_micro\\_climate\\_scale](https://www.researchgate.net/post/What_are_the_available_simulation_software_for_outdoor_climate_modeling_and_urban_forms_assessment_micro_climate_scale)

Dang, T., Van, D., Kusaka, H., Seposo, X., & Honda, Y. (2018). Green Space and Deaths Attributable to the Urban Heat Island Effect in Ho Chi Minh City. *American Journal Of Public Health*, 108(S2), S137-S143. doi: 10.2105/ajph.2017.304123

Daniel, M., Lemonsu, A., & Viguié, V. (2018). Role of watering practices in large-scale urban planning strategies to face the heat-wave risk in future climate. *Urban Climate*, 23, 287-308. doi: 10.1016/j.uclim.2016.11.001

Davies, J., Robinson, P., & Nunez, M. (1971). Field Determinations of Surface Emissivity and Temperature for Lake Ontario. *Journal Of Applied Meteorology*, 10(4), 811-819. doi: 10.1175/1520-0450(1971)010<0811:fdosea>2.0.co;2

Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. Diário da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II de 2013-12-03 (p. 35088-(72)). Retrieved from <https://dre.pt/home/-/dre/2975224/details/maximized>

Despacho n.º 3169/2020. Diário da República n.º 49/2020, Série II de 2020-03-10 (p. 183-187). Retrieved from <https://dre.pt/application/conteudo/130070443>

Doick, K., Peace, A., & Hutchings, T. (2014). The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science Of The Total Environment*, 493, 662-671. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.06.048

Ebrahimnejad, R., Noori, O., & Deihimfard, R. (2017). Mitigation potential of green structures on local urban microclimate using ENVI-met model. *International Journal Of Urban Sustainable Development*, 9(3), 274-285. doi: 10.1080/19463138.2017.1370424

Ecotelhado. (2010). Pavimentação permeável. Retrieved 15 January 2020, from <https://ecotelhado.com/pavimentacao-permeavel/>

Eligh, B. (2016). "Urban cold islands" driving plant evolution in cities. Retrieved 30 January 2020, from <https://phys.org/news/2016-12-urban-cold-islands-evolution-cities.html>

Elsayed, I. (2012). Mitigation of the Urban Heat Island of the City of Kuala Lumpur, Malaysia. *Middle-East Journal Of Scientific Research*, 11(11), 1602-1613. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/258446479\\_Mitigation\\_of\\_the\\_Urban\\_Heat\\_Island\\_of\\_the\\_City\\_of\\_Kuala\\_Lumpur\\_Malaysia](https://www.researchgate.net/publication/258446479_Mitigation_of_the_Urban_Heat_Island_of_the_City_of_Kuala_Lumpur_Malaysia)



Energy Saver. (2019). Cool Roofs. Retrieved 27 January 2020, from <https://www.energy.gov/energysaver/design/energy-efficient-home-design/cool-roofs>

Engineering ToolBox. (2003a). Emissivity Coefficients Materials. Retrieved 7 February 2020, from [https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d\\_447.html](https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html)

Engineering ToolBox. (2003b). Thermal Conductivity of selected Materials and Gases. Retrieved 7 February 2020, from [https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)

Engineering ToolBox. (2005). Dry Air Properties. Retrieved 7 February 2020, from [https://www.engineeringtoolbox.com/dry-air-properties-d\\_973.html](https://www.engineeringtoolbox.com/dry-air-properties-d_973.html)

Engineering ToolBox. (2009). Absorbed Solar Radiation. Retrieved 7 February 2020, from [https://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d\\_1568.html](https://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d_1568.html)

ENVI-met. (2001). ENVI-met - Decode urban nature with ENVI-met software. Retrieved 5 February 2020, from <https://www.envi-met.com/>

ENVI-met. (2018). *New Features Winter Release 2018/2019* (pp. 12-13). Retrieved from <https://www.ENVI-met.com/wp-content/uploads/2019/07/ENVI-met-new-features-winter-release-2018.pdf>

ENVI-met. (2019-a). *Decoding Urban Nature* (p. 6). Retrieved from <https://www.ENVI-met.com/wp-content/uploads/2019/07/ENVI-met-brochure.pdf>

ENVI-met. (2019-b). Features. Retrieved 30 January 2020, from <https://www.envi-met.com/features/>

EPA. (2019a). Heat Island Impacts. Retrieved 29 June 2020, from <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts>

EPA. (2019b). Mantenerse fresco: cómo pueden las comunidades reducir el efecto de isla de calor. Retrieved 30 January 2020, from <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/mantenerse-fresco-como-pueden-las-comunidades-reducir-el-efecto-de>

EPAL. (2020). Água. Retrieved 26 April 2020, from <https://www.epal.pt/EPAL/menu/clientes/tarif%C3%A1rio/%C3%A1gua>

Esen, H., & Tuna, O. (2015). Investigation of Photovoltaic Assisted Misting System Application for Arbor Refreshment. *International Journal Of Photoenergy*, 2015, 1-11. doi: 10.1155/2015/748219

Estores Bandarra. (2017). *Esteiras de PVC* (p. 1). Retrieved from <https://www.estoresbandarra.com/images/stories/pdf/EstoresExteriores/Ficha-Tecnica-Esteiras-de-PVC.pdf>

Ettah, E., Egbe, J., Takim, S., Uwak, A., & Oyom, E. (2016). Investigation of the Thermal Conductivity of Polyvinyl Chloride (Pvc) Ceiling Material Produced In Epz Calabar, For Application Tropical Climate Zones. *IOSR Journal Of Polymer And Textile Engineering (IOSR-JPTE)*, 3(2), 34-38. Retrieved from <http://www.iosrjournals.org/iosr-jpte/papers/Vol3-issue2/E03023438.pdf>

Excitech. (2015). Autodesk Project Vasari Retirement. Retrieved 30 January 2020, from <https://www.excitech.co.uk/Insights/Blog/April-2015/Autodesk-Project-Vasari-Retirement>

Farina, A. (2012). *Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain* (p. 32). Sölvegatan: Lund University. Retrieved from <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/3460284>

Farnham, C., Emura, K., & Mizuno, T. (2015). Evaluation of cooling effects: outdoor water mist fan. *Building Research & Information*, 43(3), 334-345. doi: 10.1080/09613218.2015.1004844

Farnham, C., Nakao, M., Nishioka, M., & Nabeshima, M. (2009). Quantification of the Effect of Cooling Mists on Individual Thermal Comfort. In *The seventh International Conference on Urban Climate* (pp. 1-3). Yokohama. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.536.4894&rep=rep1&type=pdf>

Farnham, C., Nakao, M., Nishioka, M., Nabeshima, M., & Mizuno, T. (2011). Study of mist-cooling for semi-enclosed spaces in Osaka, Japan. *Procedia Environmental Sciences*, 4, 228-238. doi: 10.1016/j.proenv.2011.03.027

Farnham, C., Nakao, M., Nishioka, M., Nabeshima, M., & Mizuno, T. (2015). Effect of Water Temperature on Evaporation of Mist Sprayed from a Nozzle. *Journal Of Heat Island Institute International*, 10, 35-44. Retrieved from [http://www.heat-island.jp/web\\_journal/download/15A004.pdf](http://www.heat-island.jp/web_journal/download/15A004.pdf)

Ferreira, T., Gonçalves, J., Silva, B., Silva, C., & Santos, T. (2018). O desempenho ambiental de coberturas verdes no contexto climático de Lisboa. Caso: Parque das Nações. In *8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2018)*. Coimbra. Retrieved from <https://www.dec.uc.pt/pluris2018/Paper988.pdf>

Fixr. (2018a). Precio de construir un estanque. Retrieved 26 April 2020, from <https://www.fixr.es/guias-de-precios/construir-estanque>

Fixr. (2018b). Precio del mantenimiento de un jardín. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.fixr.es/guias-de-precios/mantenimiento-jardin>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). Building greener cities: nine benefits of urban trees. Retrieved 3 June 2020, from <http://www.fao.org/zhc/detail-events/en/c/454543>

Forssmann, A. (2017). Barcelona y su área metropolitana. Retrieved 3 March 2020, from [https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/actualidad/nucleo-isla-calor-barcelona-esta-situado-plaza-universitat\\_12135/2](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/actualidad/nucleo-isla-calor-barcelona-esta-situado-plaza-universitat_12135/2)

Fung, C., & Jim, C. (2020). Influence of blue infrastructure on lawn thermal microclimate in a subtropical green space. *Sustainable Cities And Society*, 52, 101858. doi: 10.1016/j.scs.2019.101858

Giguère, M. (2012). *Urban Heat Island Mitigation Strategies* (pp. 43-45). Québec: Institut national de santé publique du Québec. Retrieved from [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1513\\_UrbanHeatIslandMitigationStrategies.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1513_UrbanHeatIslandMitigationStrategies.pdf)

Gill, S., Rahman, M., Handley, J., & Ennos, A. (2013). Modelling water stress to urban amenity grass in Manchester UK under climate change and its potential impacts in reducing urban cooling. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 350-358. doi: 10.1016/j.ufug.2013.03.005

Gonçalves, A., Ornellas, G., Castro Ribeiro, A., Maia, F., Rocha, A., & Feliciano, M. (2018). Urban Cold and Heat Island in the City of Bragança (Portugal). *Climate*, 6(3), 70. doi: 10.3390/cli6030070

Google. (2019). Google Earth (Version 7.3.2.5776 (64-bit)) [Windows]. Google.

Gorsevski, V., Taha, H., Quattrochi, D., & Luvall, J. (1998). Air Pollution Prevention Through Urban Heat Island Mitigation: An Update on the Urban Heat Island Pilot Project, 1-10. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/237338072\\_Air\\_Pollution\\_Prevention\\_Through\\_Urban\\_Heat\\_Island\\_Mitigation\\_An\\_Update\\_on\\_the\\_Urban\\_Heat\\_Island\\_Pilot\\_Project](https://www.researchgate.net/publication/237338072_Air_Pollution_Prevention_Through_Urban_Heat_Island_Mitigation_An_Update_on_the_Urban_Heat_Island_Pilot_Project)

Greater London Authority. (2006). *London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers* (pp. 12-15). London: Greater London Authority. Retrieved from [https://www.puc.state.pa.us/electric/pdf/dsr/dsrwg\\_sub\\_ECA-London.pdf](https://www.puc.state.pa.us/electric/pdf/dsr/dsrwg_sub_ECA-London.pdf)

Guapo, C. (2016). *Estudo Epidemiológico de Avaliação da Prevalência, Conhecimentos, Percepções e Práticas Relativamente a Excesso de Peso e Obesidade em Portugal* (pp. 12-13). Grupo Keypoint. Retrieved from [https://pesodasaude.pt/protected/wp-content/uploads/2016/06/Relat%C3%B3rio-PREVObs-Obesidade-e-Excesso-de-Peso-em-Portugal\\_v1.pdf](https://pesodasaude.pt/protected/wp-content/uploads/2016/06/Relat%C3%B3rio-PREVObs-Obesidade-e-Excesso-de-Peso-em-Portugal_v1.pdf)

Han, G., Chen, H., Yuan, L., Cai, Y., & Han, M. (2011). Field measurements on micro-climate and cooling effect of river wind on urban blocks in Wuhan city. *2011 International Conference On Multimedia Technology*. doi: 10.1109/icmt.2011.6003331

Hathway, E., & Sharples, S. (2012). The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Building And Environment*, 58, 14-22. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.06.013

Heaviside, C., Vardoulakis, S., & Cai, X. (2016). Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. *Environmental Health*, 15(27), 50-59. doi: 10.1186/s12940-016-0100-9

Hendel, M., Colombert, M., Diab, Y., & Royon, L. (2015). Measurement of the Cooling Efficiency of Pavement-Watering as an Urban Heat Island Mitigation Technique. *Journal Of Sustainable Development Of Energy, Water And Environment Systems*, 3(1), 1-11. doi: 10.13044/j.sdewes.2015.03.0001

Heyford, S. (2020). Calculating Present and Future Value of Annuities. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.investopedia.com/retirement/calculating-present-and-future-value-of-annuities/>

Hondula, D., Davis, R., & Georgescu, M. (2018). Clarifying the Connections Between Green Space, Urban Climate, and Heat-Related Mortality. *American Journal Of Public Health*, 108(S2), S62-S63. doi: 10.2105/ajph.2017.304295

Hörmann. (2019). *Portas de entrada em alumínio* (p. 8). Hörmann. Retrieved from [https://www.hoermann.pt/fileadmin/\\_country/kataloge/pdf/86637\\_AT\\_ThermoSafe\\_ThermoCarbon\\_PT.pdf](https://www.hoermann.pt/fileadmin/_country/kataloge/pdf/86637_AT_ThermoSafe_ThermoCarbon_PT.pdf)

Huang, C., Cai, J., Lin, Z., Zhang, Q., & Cui, Y. (2017). Solving model of temperature and humidity profiles in spray cooling zone. *Building And Environment*, 123, 189-199. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.06.043

Huang, C., Ye, D., Zhao, H., Liang, T., Lin, Z., Yin, H., & Yang, Y. (2011). The research and application of spray cooling technology in Shanghai Expo. *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), 3726-3735. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.03.039

Ibos, L., Monchau, J., Feuillet, V., Dumoulin, J., Ausset, P., Hameury, J., & Hay, B. (2016). Investigation of the directional emissivity of materials using infrared thermography coupled with a periodic excitation. *Proceedings Of The 2016 International Conference On Quantitative Infrared Thermography*, 244-250. doi: 10.21611/qirt.2016.031

Ihara, T., Kikegawa, Y., Oka, K., Yamaguchi, K., Endo, Y., & Genchi, Y. (2007). Urban Heat Island Mitigation and Lyfe Cycle CO2 Reduction By Installation of Urban Heat Island Countermeasures. *Seventh Symposium On The Urban Environment*. Retrieved from [https://ams.confex.com/ams/7Coastal7Urban/techprogram/paper\\_126646.htm](https://ams.confex.com/ams/7Coastal7Urban/techprogram/paper_126646.htm)

Imam Syafii, N., Ichinose, M., Kumakura, E., Jusuf, S., Chigusa, K., & Wong, N. (2017). Thermal environment assessment around bodies of water in urban canyons: A scale model study. *Sustainable Cities And Society*, 34, 79-89. doi: 10.1016/j.scs.2017.06.012

Imran, H., Kala, J., Ng, A., & Muthukumaran, S. (2019). Effectiveness of vegetated patches as Green Infrastructure in mitigating Urban Heat Island effects during a heatwave event in the city of Melbourne. *Weather And Climate Extremes*, 25, 100217. doi: 10.1016/j.wace.2019.100217

Indeed. (2020). Salários: Jardineiro - Portugal. Retrieved 27 April 2020, from <https://pt.indeed.com/salaries/jardineiro-Salaries>

Inflation.eu. (2019). Inflação na Portugal em 2019. Retrieved 27 April 2020, from <https://pt.inflation.eu/taxas-de-inflacao/portugal/inflacao-historica/ipc-inflacao-portugal-2019.aspx>

Instituto Arqueiro. (2009). celtis occidentalis (celt). Retrieved 6 February 2020, from <http://institutoarqueiro.com.br/novosite/modules/arqueiro/mmedica.php?sort=abbreviation&med=celt&book=medicine#354>

IPCC. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios* (pp. 4-5). Cambridge: The Press Syndicate Of The University Of Cambridge. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions\\_scenarios-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf)

IPCC. (2002). About the IPCC. Retrieved 24 February 2020, from <https://www.ipcc.ch/about/>

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report* (p. 7). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf)

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report* (p. 8). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)

IPCC. (2020). *The IPCC and the Sixth Assessment cycle* (p. 2). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/04/AC6\\_Brochure\\_2020.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/04/AC6_Brochure_2020.pdf)

Ishii, A., Iwamoto, S., Katayama, T., Hayashi, T., Shiotsuki, Y., & Kitayama, H. et al. (1991). A comparison of field surveys on the thermal environment in urban areas surroundings a large pond: when filled and when drained. *Energy And Buildings*, 16(3-4), 965-971. doi: 10.1016/0378-7788(91)90091-g

Ishii, T., Tsujimoto, M., Yoon, G., & Okumiya, M. (2009). Cooling System with Water Mist Sprayers for Mitigation of Heat-island. In *The seventh International Conference on Urban Climate* (p. 2). Yokohama. Retrieved from [http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended\\_abstracts/pdf/384149-1-090520232006-003.pdf](http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/384149-1-090520232006-003.pdf)

Jacobs, C. (1994). *Direct Impact of Atmospheric CO2 Enrichment on Regional Transpiration* (Ph.D.). Wageningen University & Research.

Joshi, S., Gomekar, S., Goyal, I., Hardas, S., Ghawghawe, R., & Pokle, S. (2016). Design of solar powered mist cooling system for a typical semi-outdoor area in Nagpur, 2. Retrieved from <http://Design of solar powered mist cooling system for a typical semi-outdoor area in Nagpur>

Jun-feng, W., & Xin-cheng, T. (2009). Experimental Study and Numerical Simulation on Evaporative Cooling of Fine Water Mist in Outdoor Environment. *2009 International Conference On Energy And Environment Technology*, 156-159. doi: 10.1109/iceet.2009.44

Kantor, L. (2017). O que é retrofit? Entenda melhor essa tendência da Arquitetura e Design. Retrieved 15 January 2020, from <https://www.hometeka.com.br/pro/o-que-e-retrofit-conheca-essa-tendencia-e-como-ela-pode-ser-aplicada/>

Kia Lim Berhad Malaysia. (2006). Clayon Clay Roof Tiles - Technical Details. Retrieved 7 February 2020, from <http://www.kialim.com.my/rooftiles-spec.php>

Kim, J., Lee, M., & Yoon, Y. (2015). A Verification Study on the Temperature reduction Effect of Water Mist Injection. *KIEAE Journal*, 15(3), 5-14. doi: 10.12813/kieae.2015.15.3.005

Kim, Y., Ryoo, S., Baik, J., Park, I., Koo, H., & Nam, J. (2007). Does the restoration of an inner-city stream in Seoul affect local thermal environment?. *Theoretical And Applied Climatology*, 92(3-4), 239-248. doi: 10.1007/s00704-007-0319-z

Kojima, M., & Nakashima, K. (2012). A Study of Mist Spraying System by Urban Transportation. *Design For Innovative Value Towards A Sustainable Society*, 720-723. doi: 10.1007/978-94-007-3010-6\_144

Kumar, R., Mishra, V., Buzan, J., Kumar, R., Shindell, D., & Huber, M. (2017). Dominant control of agriculture and irrigation on urban heat island in India. *Scientific Reports*, 7(1). doi: 10.1038/s41598-017-14213-2

Langer, I., Sodoudi, S., & Cubasch, U. (2012). Using the ENVI-MET program to simulate the micro climate in new Town HASHTGERD. In *The International Conference on Computing, Networking and Digital Technologies (ICCNDT2012)* (pp. 61-64). Bahrain. doi: 10.13140/2.1.1739.2005

Li, C., Cao, Y., Zhang, M., Wang, J., Liu, J., Shi, H., & Geng, Y. (2015). Hidden Benefits of Electric Vehicles for Addressing Climate Change. *Scientific Reports*, 5(1). doi: 10.1038/srep09213

Lobaccaro, G., Massimo, T., Wyckmans, A., & Palazzo, D. (2014). Green design strategies for urban heat island mitigation in a solar optimized access Eixample via IMM® methodology. In *World SB14* (pp. 1-7). Barcelona. Retrieved from [https://www.academia.edu/9751800/Green\\_design\\_strategies\\_for\\_urban\\_heat\\_island\\_mitigation\\_in\\_a\\_solar\\_optimized\\_access\\_Eixample\\_via\\_IMM\\_methodology?auto=download](https://www.academia.edu/9751800/Green_design_strategies_for_urban_heat_island_mitigation_in_a_solar_optimized_access_Eixample_via_IMM_methodology?auto=download)

Lopes, A. (2008). O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *Territorium*, (15), 39-52. doi: 10.14195/1647-7723\_15\_4

Lopes, A., Lopes, S., Matzarakis, A., & Alcoforado, M. (2011). The influence of the summer sea breeze on thermal comfort in Funchal (Madeira). A contribution to tourism and urban planning. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(5), 553-564. doi: 10.1127/0941-2948/2011/0248

Lowe, J., Bernie, D., Bett, P., Brichenno, L., Brown, S., & Calvert, D. et al. (2019). *UKCP18 Science Overview Report* (pp. 16;20-25). Met Office. Retrieved from <https://www.metoffice.gov.uk/pub/data/weather/uk/ukcp18/science-reports/UKCP18-Overview-report.pdf>

Luz, G. (2018). Peso específico da Cerâmica (e meu Infográfico!). Retrieved 7 February 2020, from <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/09/peso-especifico-ceramica.html>

Mahdavi, A., Kiesel, K., & Vuckovic, M. (2014). Empirical and computational assessment of the Urban Heat Island phenomenon and related mitigation measures. *Geographia Polonica*, 87(4), 505-516. doi: 10.7163/gpol.2014.34

Mahmoud, M. (2015). Experimental Study to Evaluate Mist System Performance. *International Journal Of Innovative Research In Advanced Engineering*, 2(9), 41-48. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/305171644\\_Experimental\\_Study\\_to\\_Evaluate\\_Mist\\_System\\_Performance](https://www.researchgate.net/publication/305171644_Experimental_Study_to_Evaluate_Mist_System_Performance)

Maleki, A., & Mahdavi, A. (2016). Evaluation of Urban Heat Islands mitigation strategies using 3dimensional urban micro-climate model envi-met. *Asian Journal Of Civil Engineering*, 17(3), 357-371. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/291837003\\_Evaluation\\_of\\_Urban\\_Heat\\_Islands\\_mitigation\\_strategies\\_using\\_3dimensional\\_urban\\_micro-climate\\_model\\_envi-met](https://www.researchgate.net/publication/291837003_Evaluation_of_Urban_Heat_Islands_mitigation_strategies_using_3dimensional_urban_micro-climate_model_envi-met)

Manteghi, G., Lamit, H., Remaz, D., & Aflaki, A. (2016). ENVI-met Simulation on Cooling Effect of Melaka River. *International Journal Of Energy And Environmental Research*, 4(2), 7-15. Retrieved from <http://www.eajournals.org/wp-content/uploads/Envi-Met-Simulation-on-Cooling-Effect-of-Melaka-River.pdf>

Manteghi, G., Shukri, S., & Lamit, H. (2019). Street geometry and River Width as Design Factors to Improve Thermal Comfort in Mekala City. *Journal Of Advanced Research In Fluid Mechanics And Thermal Sciences*, 58(1), 15-22. Retrieved from [http://www.akademiabaru.com/doc/ARFMTSV58\\_N1\\_P15\\_22.pdf](http://www.akademiabaru.com/doc/ARFMTSV58_N1_P15_22.pdf)

Masson, V., Bonhomme, M., Salagnac, J., Briottet, X., & Lemonsu, A. (2014). Solar panels reduce both global warming and urban heat island. *Frontiers In Environmental Science*, 2(14). doi: 10.3389/fenvs.2014.00014

Matzarakis, A., & Amelung, B. (2008). Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. *Seasonal Forecasts, Climatic Change And Human Health*, 161-172. doi: 10.1007/978-1-4020-6877-5\_10

Mendonça, P. (2014). *Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados* (Ph.D). Universidade do Minho.

Meteonorm. (2001). Features. Retrieved 2 March 2020, from <https://meteonorm.com/en/meteonorm-features>

Meteonorm. (2019). Meteonorm (Version 7.7.3.17983) [Windows]. Meteotest.

Metric Conversions. (2018). Conversão de Milhas em Quilómetros. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.metric-conversions.org/pt/comprimento/milhas-em-quilometros.htm>

Montazeri, H., Blocken, B., & Hensen, J. (2015a). CFD analysis of the impact of physical parameters on evaporative cooling by a mist spray system. *Applied Thermal Engineering*, 75, 608-622. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.078

Montazeri, H., Blocken, B., & Hensen, J. (2015b). Evaporative cooling by water spray systems: CFD simulation, experimental validation and sensitivity analysis. *Building And Environment*, 83, 129-141. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.03.022

Montazeri, H., Toparlar, Y., Blocken, B., & Hensen, J. (2017). Simulating the cooling effects of water spray systems in urban landscapes: A computational fluid dynamics study in Rotterdam, The Netherlands. *Landscape And Urban Planning*, 159, 85-100. doi: 10.1016/j.landurbplan.2016.10.001

Murakawa, S., Sekine, T., Narita, K., & Nishina, D. (1991). Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area. *Energy And Buildings*, 16(3-4), 993-1001. doi: 10.1016/0378-7788(91)90094-j

Narumi, D., Shigematsu, K., & Shimoda, Y. (2012). Effect of the Evaporative Cooling Techniques by Spraying Mist Water on Reducing Urban Heat Flux and Saving Energy in Apartment House, 8. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/316997516\\_Effect\\_of\\_the\\_Evaporative\\_Cooling\\_Techniques\\_by\\_Spraying\\_Mist\\_Water\\_on\\_Reducing\\_Urban\\_Heat\\_Flux\\_and\\_Saving\\_Energy\\_in\\_an\\_Apartment\\_House](https://www.researchgate.net/publication/316997516_Effect_of_the_Evaporative_Cooling_Techniques_by_Spraying_Mist_Water_on_Reducing_Urban_Heat_Flux_and_Saving_Energy_in_an_Apartment_House)

Nogueira, L., & Mesquita, S. (2016). *Avaliação da Qualidade do Ar na região de Lisboa e Vale do Tejo em 2015* (pp. IV2-IV8). CCDR LVT. Retrieved from <http://www.ccdr-lvt.pt/files/08e96150e31dd75645cee47783e39ee894174295.pdf>

Nowak, D., & Crane, D. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389. doi: 10.1016/s0269-7491(01)00214-7

Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2019). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Road Transport* (pp. 24-31). European Environment Agency. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>

Nunez, C. (2019). Carbon dioxide levels are at a record high. Here's what you need to know. Retrieved 5 August 2020, from <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/greenhouse-gases/>

Nunez, M., Davies, J., & Robinson, P. (1972). Surface albedo at a tower site in Lake Ontario. *Boundary-Layer Meteorology*, 3(1), 77-86. doi: 10.1007/bf00769108

Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). *Urban climate* (pp. 156-158). Cambridge: Cambridge University Press.

Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building And Environment*, 46(11), 2186-2194. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.04.034

Ontario. (2016). *State of Ontario's Natural Resources – Forests 2016 Report* (p. 7). Retrieved from <https://files.ontario.ca/forests2016-final-accessible.pdf>

OPTICLEAF. (2015). Databases. Retrieved 5 February 2020, from <http://opticleaf.ipgp.fr/index.php?page=database>

Panawala, L. (2017). Between C3 and C4 Plants, 1. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/316616969\\_Home\\_Science\\_Biology\\_Botany\\_Difference\\_Between\\_C3\\_and\\_C4\\_Plants\\_Difference\\_Between\\_C3\\_and\\_C4\\_Plants](https://www.researchgate.net/publication/316616969_Home_Science_Biology_Botany_Difference_Between_C3_and_C4_Plants_Difference_Between_C3_and_C4_Plants)

Paoletti, E., Bardelli, T., Giovannini, G., & Pecchioli, L. (2011). Air quality impact of an urban park over time. *Procedia Environmental Sciences*, 4, 10-16. doi: 10.1016/j.proenv.2011.03.002

Parry, H. (2017). Could PAINT be the answer to global warming? America's streets could soon be white as California pioneers 'cool pavements' to tackle the extreme heat effects of climate change. Retrieved 1 June 2020, from <https://www.dailymail.co.uk/news/article-4780306/Could-PAINT-answer-global-warming.html>

Pearlmutter, D., Erell, E., Etzion, Y., Meir, I., & Di, H. (1996). Refining the use of evaporation in an experimental down-draft cool tower. *Energy And Buildings*, 23(3), 191-197. doi: 10.1016/0378-7788(95)00944-2

Peel, M., Finlayson, B., & McMahon, T. (2011). *Koppen World Map Csa* [Image]. Retrieved from [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koppen\\_World\\_Map\\_Csa.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koppen_World_Map_Csa.png)

Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs, 9. Retrieved from <http://etccdi.pacificclimate.org/docs/wgccd.2001.pdf>

Planfor. (2017). Tília de folhas grandes / Tilia platyphyllos. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.planfor.pt/comprar,tilia-de-folhas-grandes,1872,PO#pre%C3%A7os>

Pomerantz, M., Akbari, H., Chang, S., Levinson, R., & Pon, P. (2003). Examples of Cooler Reflective Streets for Urban Heat-Island Mitigation: Portland Cement Concrete and Chip Seals, 7;18. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/53w2s92d>

Pordata. (2019). População residente, média anual: total e por sexo. Retrieved 6 February 2020, from <https://www.pordata.pt/Portugal/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente++m%C3%A9dia+anual+total+e+por+sexo-6>

Pordata. (2020a). População residente, média anual: total e por sexo. Retrieved 7 September 2020, from <https://www.pordata.pt/Municipios/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+do+sexo+feminino+total+e+por+grandes+grupos+et%C3%A1rios-466>

Pordata. (2020b). População residente, média anual: total e por sexo. Retrieved 7 September 2020, from <https://www.pordata.pt/Municipios/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+do+sexo+masculino+total+e+por+grandes+grupos+et%C3%A1rios-465>

Preceram. (2016). *Tijolo cerâmico P, para utilização em alvenaria protegida não resistente, com exposição passiva e requisitos acústicos, térmicos e de resistência ao fogo* (p. 1). Retrieved from [https://preceram.pt/documentos/FT\\_CE\\_PRECERAM.pdf](https://preceram.pt/documentos/FT_CE_PRECERAM.pdf)

Remodeling Expense. (2020). Cost of Cobblestone. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.remodelingexpense.com/costs/cost-of-cobblestone>

Ritchie, H., & Roser, M. (2020). Urbanization. Retrieved 26 January 2020, from <https://ourworldindata.org/urbanization>

RNC2050. (2019). *Estratégia a Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica da Economia Portuguesa em 2050* (pp. 6-10). Retrieved from [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050\\_PT-22-09-2019.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_PT-22-09-2019.pdf)

Rosenfeld, A., Akbari, H., Romm, J., & Pomerantz, M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy And Buildings*, 28(1), 51-62. doi: 10.1016/s0378-7788(97)00063-7

Rosheidat, A., Hoffman, D., & Bryan, H. (2008). Visualizing Pedestrian Comfort Using ENVI-met. In *Third National Conference of IBPSA-USA* (pp. 198-205). Berkeley: SimBuild. Retrieved from [https://www.academia.edu/8141644/VISUALIZING\\_PEDESTRIAN\\_COMFORT\\_USING\\_ENVI-MET](https://www.academia.edu/8141644/VISUALIZING_PEDESTRIAN_COMFORT_USING_ENVI-MET)



- Rosseti, K., Nogueira, M., Callejas, I., Durante, L., Kuhnen, I., & Nogueira, J. (2014). Efeitos de Telhados Vegetados no Conforto Térmico de Pedestres, Simulação pelo Software ENVI-met. In *XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído* (pp. 8-9). Maceió. doi: 10.13140/RG.2.1.1403.4645
- Russo, A., Escobedo, F., Timilsina, N., Schmitt, A., Varela, S., & Zerbe, S. (2014). Assessing urban tree carbon storage and sequestration in Bolzano, Italy. *International Journal Of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(1), 54-70. doi: 10.1080/21513732.2013.873822
- Rutledge, K., Ramroop, T., Boudreau, D., McDaniel, M., Teng, S., Sprout, E., & Costa, H. (2011). Urban heat island. Retrieved 27 January 2020, from <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/urban-heat-island/>
- Saaroni, H., & Ziv, B. (2003). The impact of a small lake on heat stress in a Mediterranean urban park: the case of Tel Aviv, Israel. *International Journal Of Biometeorology*, 47(3), 156-165. doi: 10.1007/s00484-003-0161-7
- Saaroni, H., Amorim, J., Hiemstra, J., & Pearlmutter, D. (2018). Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *Urban Climate*, 24, 94-110. doi: 10.1016/j.uclim.2018.02.001
- Sabnis, A. (2016). *Smart City & Sustainable Development* (p. 28). Retrieved from: <https://www.slideshare.net/sabnisajit/smart-cities-sustainable-devmadurai>
- Sahnoune, S., & Benhassine, N. (2017). Quantifying the Impact of Green-Roofs on Urban Heat Island Mitigation. *International Journal Of Environmental Science And Development*, 8(2), 116-123. doi: 10.18178/ijesd.2017.8.2.932
- Salamanca, F., Georgescu, M., Mahalov, A., Moustauoi, M., & Martilli, A. (2016). Citywide Impacts of Cool Roof and Rooftop Solar Photovoltaic Deployment on Near-Surface Air Temperature and Cooling Energy Demand. *Boundary-Layer Meteorology*, 161(1), 203-221. doi: 10.1007/s10546-016-0160-y
- Salamanca, F., Martilli, A., & Yagüe, C. (2011). A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International Journal Of Climatology*, 32(15), 2372-2386. doi: 10.1002/joc.3398
- Santamouris, M., Haddad, S., Saliari, M., Vasilakopoulou, K., Synnefa, A., & Paolini, R. et al. (2018). On the energy impact of urban heat island in Sydney: Climate and energy potential of mitigation technologies. *Energy And Buildings*, 166, 154-164. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.02.007
- Santos, C., & Matias, L. (2006). *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – Versão actualizada 2006* (1st ed., pp. I3-I10). Lisboa: LNEC.
- Sastre, R. (2001). *Propietats dels materials i elements de construcció* [Ebook] (1st ed., p. 72). Barcelona: Edicions UPC. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.3/36307>
- Scharenbroch, B. (2011). Urban Trees for Carbon Sequestration. *Carbon Sequestration In Urban Ecosystems*, 121-138. doi: 10.1007/978-94-007-2366-5\_6
- Sen, S., Roesler, J., Ruddell, B., & Middel, A. (2019). Cool Pavement Strategies for Urban Heat Island Mitigation in Suburban Phoenix, Arizona. *Sustainability*, 11(16), 4452. doi: 10.3390/su11164452
- Serralves. (2018). *Celtis australis* L. Retrieved 6 February 2020, from <http://serralves.ubiprism.pt/species/show/1064>

Serralves. (2019). *Melia azedarach* L. Retrieved 6 February 2020, from <http://serralves.ubiprism.pt/species/show/1032>

Sharma, A., Conry, P., Fernando, H., Hamlet, A., Hellmann, J., & Chen, F. (2016). Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: evaluation with a regional climate model. *Environmental Research Letters*, 11(6), 064004. doi: 10.1088/1748-9326/11/6/064004

Simon, H. (2016). *Modeling urban microclimate: Development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met* (Doktor). Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Skoufali, I., & Battisti, A. (2019). Microclimate of Urban Canopy Layer and Outdoor Thermal Comfort: A Case Study in Pavlou Mela, Thessaloniki. *Urban Science*, 3(3), 84. doi: 10.3390/urbansci3030084

Skoulika, F., Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Boemi, N. (2014). On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. *Landscape And Urban Planning*, 123, 73-86. doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.11.002

Soares, A., Rego, F., McPherson, E., Simpson, J., Peper, P., & Xiao, Q. (2011). Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(2), 69-78. doi: 10.1016/j.ufug.2010.12.001

Solecki, W., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., & Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Environmental Hazards*, 6(1), 39-49. doi: 10.1016/j.hazards.2004.12.002

Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2012). Study on Surface Heat Budget of Various Pavements for Urban Heat Island Mitigation. *Advances In Materials Science And Engineering*, 2012, 1-11. doi: 10.1155/2012/523051

The Trust for Public Land. (2016). *The benefits of green infrastructure for heat mitigation and emissions reductions in cities* (pp. 12-25). Retrieved from <https://www.tpl.org/sites/default/files/Benefits%20of%20GI%20for%20heat%20mitigation%20and%20emissions%20reductions%20in%20cities.pdf>

topographic-map.com. (2002). Lisboa. Retrieved 1 January 2020, from <https://pt-pt.topographic-map.com/maps/gecx/Lisboa/>

Turhan, C., & Akkurt, G. (2018). Mitigation of Urban Heat Island Effect Through Nature-Based Solutions: H2020 Urban GreenUP Project. In *IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu* (p. 6). Edirne. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/326441116\\_MITIGATION\\_OF\\_URBAN\\_HEAT\\_ISLAND\\_EFFECT\\_THROUGH\\_NATURE-BASED\\_SOLUTIONS\\_H2020\\_URBAN\\_GreenUP\\_PROJECT](https://www.researchgate.net/publication/326441116_MITIGATION_OF_URBAN_HEAT_ISLAND_EFFECT_THROUGH_NATURE-BASED_SOLUTIONS_H2020_URBAN_GreenUP_PROJECT)

Ulpiani, G., Di Giuseppe, E., Di Perna, C., D'Orazio, M., & Zinzi, M. (2019a). Thermal comfort improvement in urban spaces with water spray systems: Field measurements and survey. *Building And Environment*, 156, 46-61. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.04.007

Ulpiani, G., di Perna, C., & Zinzi, M. (2019b). Water nebulization to counteract urban overheating: Development and experimental test of a smart logic to maximize energy efficiency and outdoor environmental quality. *Applied Energy*, 239, 1091-1113. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.231

Vahmani, P., & Jones, A. (2017). Water conservation benefits of urban heat mitigation. *Nature Communications*, 8(1), 1-9. doi: 10.1038/s41467-017-01346-1

Vecchi, R., Lamberts, R., & Candido, C. (2017). The role of clothing in thermal comfort: how people dress in a temperate and humid climate in Brazil. *Ambiente Construído*, 17(1), 69-81. doi: 10.1590/s1678-86212017000100124

Vidmar, J. (2013). Evaluation of simulation tools for assessment of urban form based on physical performance, 2-16;A. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/317570966\\_Evaluation\\_of\\_simulation\\_tools\\_for\\_assessment\\_of\\_urban\\_form\\_based\\_on\\_physical\\_performance](https://www.researchgate.net/publication/317570966_Evaluation_of_simulation_tools_for_assessment_of_urban_form_based_on_physical_performance)

Villanueva-Solis, J. (2012). Urban Heat Island: Dynamic Simulation, Assessment and Measuring Mitigation in Cities of Extreme Dry Weather. *Journal Of Civil Engineering And Architecture*, 6(7), 906–912. doi: 10.17265/1934-7359/2012.07.014

Wälchli, G. (2012). *Ökosystemdienstleistungen als ökonomische Strategie? i-Tree: ein Instrument für die Wertermittlung von Stadtbäumen Zusammenfassung* (Bachelorarbeit). ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

Wang, J., Tu, X., Wang, Z., & Huang, J. (2010). Application and Numerical Simulation on Water Mist Cooling for Urban Environment Regulation. *Lecture Notes In Computer Science*, 469-480. doi: 10.1007/978-3-642-15615-1\_55

Wang, X., Cheng, H., Xi, J., Yang, G., & Zhao, Y. (2018). Relationship between Park Composition, Vegetation Characteristics and Cool Island Effect. *Sustainability*, 10(3), 587. doi: 10.3390/su10030587

Wang, Y., Berardi, U., & Akbari, H. (2016). Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy And Buildings*, 114, 2-19. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.046

Wang, Y., Tian, W., Zhu, L., Ren, J., Liu, Y., Zhang, J., & Yuan, B. (2005). Interactions between Building Integrated Photovoltaics and Microclimate in Urban Environments. *Journal Of Solar Energy Engineering*, 128(2), 168-172. doi: 10.1115/1.2188533

Werneck, D., & Romero, M. (2020). Análise de Microclimas Urbanos Orientada à Mitigação de Ilhas de Calor em Áreas de Comércio Local do Plano Piloto de Brasília-Brasil. In *8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2018)* (pp. 675-687). Coimbra. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/329787934\\_ANALISE\\_DE\\_MICROCLIMAS\\_URBANOS\\_ORIENTADA\\_A\\_MITIGACAO\\_DE\\_ILHAS\\_DE\\_CALOR\\_EM\\_AREAS\\_DE\\_COMERCIO\\_LOCAL\\_DO\\_PLANO\\_PILOTO\\_DE\\_BRASILIA-BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/329787934_ANALISE_DE_MICROCLIMAS_URBANOS_ORIENTADA_A_MITIGACAO_DE_ILHAS_DE_CALOR_EM_AREAS_DE_COMERCIO_LOCAL_DO_PLANO_PILOTO_DE_BRASILIA-BRASIL)

Wesner, J. (2016). MAE and RMSE — Which Metric is Better?. Retrieved 13 January 2020, from <https://medium.com/human-in-a-machine-world/mae-and-rmse-which-metric-is-better-e60ac3bde13d>

Windows for High-performance Commercial Buildings. (2012). Window Technologies: Properties Primer. Retrieved 7 February 2020, from <https://www.commercialwindows.org/absorptance.php>

Wong, N., & Chong, A. (2010). Performance evaluation of misting fans in hot and humid climate. *Building And Environment*, 45(12), 2666-2678. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.05.026

XE. (2020). XE Currency Converter: 1 USD para EUR = 0,923247 Euros. Retrieved 27 April 2020, from <https://www.xe.com/pt/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=EUR>

Yamada, H., Yoon, G., Okumiya, M., & Okuyama, H. (2008). Study of cooling system with water mist sprayers: Fundamental examination of particle size distribution and cooling effects. *Building Simulation*, 1(3), 214-222. doi: 10.1007/s12273-008-8115-y

Yilmaz, S., Mutlu, E., & Yilmaz, H. (2018). Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. *Environmental Science And Pollution Research*, 25(26), 26307-26321. doi: 10.1007/s11356-018-2590-1

Yoon, G., Yamada, H., & Okumiya, M. (2008). Study on a cooling system using water mist sprayers; system control considering outdoor environment. Korea-Japan Jt. Symp. Human-Environment Syst. In *Korea-Japan Joint Symposium on Human-Environment System HES32* (p. 4). Cheju. Retrieved from <http://nagomist.co.jp/pdf/YOON.pdf>

Zare, S., Hasheminejad, N., Shirvan, H., Hemmatjo, R., Sarebanzadeh, K., & Ahmadi, S. (2018). Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather And Climate Extremes*, 19, 49-57. doi: 10.1016/j.wace.2018.01.004

## Anexos

### Anexo A – Medidas presentes na bibliografia

Tabela A.1: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 1).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Alemanha	Friburgo em Brisgóvia	Cfb	Implementação	Tráfego automóvel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo</li> <li>• Incentivos a alternativas</li> </ul>	(Giguère, 2012)
Arábia Saudita	Medina	BWh	Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Atieh & Al Shariff, 2013)
Argélia	Constantina	Csa	Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Sahnoune & Benhassine, 2017)
Austrália	Melbourne	Cfb	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Imran, Kala, Ng & Muthukumaran, 2019)
	Sydney	Cfa	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Santamouris et al., 2018)
Áustria	Viena	Cfb	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Mahdavi et al., 2014)
			Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permeável</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Maleki & Mahdavi, 2016)
Brasil	Brasília	Aw	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachadas com maior albedo</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> </ul>	(Werneck & Romero, 2018)
	Cuiabá	Aw	Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Rosseti et al., 2014)

Tabela A.2: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 2).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Canadá	Kelowna	Dfb	Implementação	Espaços verdes: • Vegetação	(Giguère, 2012)
	Montreal	Dfb	Implementação	Revestimento de edifícios: • Telhados verdes	(Giguère, 2012)
			Implementação	Espaços verdes: • Vegetação	(Giguère, 2012)
			Implementação	Revestimento de edifícios: • Telhados com maior albedo	(Giguère, 2012)
			Implementação	Massas de água: • Lagos	(Giguère, 2012)
	Ottawa	Dfb	Implementação	Espaços verdes: • Vegetação	(Giguère, 2012)
			Implementação	Tráfego automóvel: • Incentivos a alternativas	(Giguère, 2012)
	Sherbrooke	Dfb	Implementação	Tráfego automóvel: • Incentivos a alternativas	(Giguère, 2012)
	Toronto	Dfb	Numérico	Espaços verdes: • Vegetação Pavimentação: • Maior albedo Revestimento de edifícios: • Telhados com maior albedo	(Wang, Berardi & Akbari, 2016)
			Implementação	Revestimento de edifícios: • Telhados verdes	(Giguère, 2012)
			Implementação	Revestimento de edifícios: • Telhados verdes	(Giguère, 2012)
China	Changzhou	Cfa	Implementação	Espaços verdes: • Parques urbanos	(Wang, Cheng, Xi, Yang & Zhao, 2018)
	Jiangsu	Cfa	Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Jun-feng & Xin-cheng, 2009)
			Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Jun-feng & Xin-cheng, 2009)
			Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Wang, Tu, Wang & Huang, 2010)
	Tianjin	Dwa	Numérico	Revestimento de edifícios: • Painéis solares	(Wang et al., 2005)
	Xangai	Cfa	Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Huang et al., 2011)
			Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Huang, Cai, Lin, Zhang & Cui, 2017)
			Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	
	Wuhan	Cfa	Implementação	Massas de água: • Rios	(Han et al., 2011)

Tabela A.3: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 3).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Coreia do Sul	Chungju	Dwa	Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Kim, Lee & Yoon, 2015)
	Seul	Dwa	Numérico	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ribeiras</li> </ul>	(Kim et al., 2008)
Cuba	Havana	Aw	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Tráfego automóvel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo</li> </ul>	(Couret, Martínez, Rodríguez & Castro, 2018)
			Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	
			Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> </ul> Tráfego automóvel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo</li> </ul>	
			Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permeável</li> </ul>	
Dinamarca	Copenhaga	Cfb	Implementação	Tráfego automóvel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos a alternativas</li> </ul>	(Giguère, 2012)
Espanha	Barcelona	Csa	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Lobaccaro et al., 2014)
			Implementação	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Arellano & Roca, 2018)
			Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rios</li> </ul>	(Forssmann, 2017)
	Madrid	Csa	Implementação	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques urbano</li> </ul>	(Aram et al., 2019)
			Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Salamanca et al., 2011)
	Sevilha	Csa	Implementação	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Farina, 2012)
Estados Unidos	Baton Rouge	Cfa	Teórico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Gorsevski et al., 1998)
	Camden	Cfa	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Soleki et al., 2005)
	Califórnia	BWk	Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Vahmani & Jones, 2017)
			Implementação	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Giguère, 2012)

Tabela A.4: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 4).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Estados Unidos	Chicago	Dfa	Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Sharma et al., 2016)
			Implementação	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Giguère, 2012)
	Dearborn	Dfa	Implementação	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Giguère, 2012)
	Los Angeles	Csa	Teórico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Rosenfeld et al., 1998)
	Newark	Dfa	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Soleki et al., 2005)
	Nova Iorque	Dfa	Teórico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques urbanos</li> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachadas verdes</li> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(The Trust for Public Land, 2016)
			Implementação	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Corburn, 2009)
	Phoenix	BWh	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> <li>• Piso molhado</li> </ul>	(Rosheidat et al., 2008)
			Numérico	Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> </ul>	(Sen, Roesler, Ruddell & Middel, 2019)
			Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Painéis solares</li> <li>• Telhados com maior albedo</li> </ul>	(Salamanca, Georgescu, Mahalov, Moustauoui & Martilli, 2016)
	Portland	Csb	Implementação	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Giguère, 2012)
			Implementação	Tráfego automóvel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo</li> </ul>	(Giguère, 2012)



Tabela A.5: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 5).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Estados Unidos	Sacramento	Csa	Teórico	Espaços verdes: • Vegetação Revestimento de edifícios: • Telhados com maior albedo	(Gorsevski et al., 1998)
	Salt Lake	Cfa	Teórico	Espaços verdes: • Vegetação Revestimento de edifícios: • Telhados com maior albedo	
	São Francisco	Csc	Implementação	Pavimentação: • Maior albedo	(Pomerantz, Akbari, Chang, Levinson & Pon, 2003)
	Tucson	BSh	Numérico	Revestimento de edifícios: • Painéis solares • Telhados com maior albedo	(Salamanca et al., 2016)
França	Grenoble	Cfb	Implementação	Tráfego automóvel: • Incentivos a alternativas	(Giguère, 2012)
	Lyon	Cfb	Implementação	Revestimento de edifícios: • Fachadas verdes	(Giguère, 2012)
	Nantes	Cfb	Implementação	Tráfego automóvel: • Incentivos a alternativas	(Giguère, 2012)
	Nice	Csa	Implementação	Tráfego automóvel: • Incentivos a alternativas	(Giguère, 2012)
	Paris	Cfb	Numérico	Revestimento de edifícios: • Painéis solares	(Masson et al., 2014)
			Numérico	Espaços verdes: • Parques urbanos • Vegetação Pavimentação: • Piso molhado	(Daniel et al., 2018)
			Implementação	Pavimentação: • Piso molhado	(Hendel et al., 2015)
			Implementação	Tráfego automóvel: • Incentivos a alternativas	(Giguère, 2012)
			Implementação	Tráfego automóvel: • Incentivos a alternativas	(Giguère, 2012)
Grécia	Atenas	Csa	Implementação	Espaços verdes: • Parques urbanos	(Skoulika et al., 2014)
Índia	Nagpur	Aw	Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Joshi et al., 2016)

Tabela A.6: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 6).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Inglaterra	Liverpool	Cfb	Numérico	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Barrow & Pope, 2007)
	Londres	Cfb	Implementação	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques urbanos</li> </ul>	(Doick, Peace & Hutchings, 2014)
			Implementação	Tráfego automóvel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo</li> </ul>	(Giguère, 2012)
	Manchester	Cfb	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Gill, Rahman, Handley & Ennos, 2013)
	Sheffield	Cfb	Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rios</li> </ul>	(Hathway Sharples, 2012)
Iraque	Bagdade	Bwh	Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Mahmoud, 2015)
Irão	Teerão	BSk	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Langer, Sodoudi & Cubasch, 2012)
			Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Ebrahimnejad, Noori & Deihimfard, 2017)
Israel	Tel Aviv	Csa	Teórico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques urbanos</li> <li>• Vegetação</li> </ul>	(Saaroni et al., 2018)
			Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagos</li> </ul>	(Saaroni & Ziv, 2003)
	Mitspe Ramon	Bsk	Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Pearlmutter et al., 1996)
Itália	Ancora	Cfa	Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Ulpiani et al., 2019b)
			Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Ulpiani et al., 2019a)
	Bolonha	Cfa	Numérico	Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Cipolla et al., 2018)
	Roma	Csa	Numérico	Pavimentação: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior albedo</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachadas com maior albedo</li> </ul>	(Castaldo et al., 2017)
			Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Ulpiani et al., 2019b)
			Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Ulpiani et al., 2019a)

Tabela A.7: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 7).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Japão	Fukuoka	Cfa	Implementação	Massas de água: • Lagos	(Ishii et al., 1991)
	Hiroshima	Cfa	Implementação	Massas de água: • Rios	(Murakawa, Sekine, Narita & Nishina, 1991)
	Kanagawa	Cfa	Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Ishii, Tsujimoto, Yoon & Okumiya, 2009)
	Nagoia	Cfa	Implementação	Espaços verdes: • Parques urbanos	(Cao, Onishi, Chen & Imura, 2010)
			Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Yamada, Yoon, Okumiya & Okuyama, 2008)
			Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Yoon, Yamada & Okumiya, 2008)
			Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Kojima & Nakashima, 2012)
	Osaka	Cfa	Numérico	Revestimento de edifícios: • Painéis solares	(Cortes et al., 2015)
			Implementação	Pavimentação: • Maior albedo • Permeável	(Takebayashi & Moriyama, 2012)
			Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Farnham, Nakao, Nishioka & Nabeshima, 2009)
			Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Farnham, Nakao, Nishioka, Nabeshima & Mizuno, 2011)
			Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	
			Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Narumi, Shigematsu & Shimoda, 2012)
			Numérico	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Farnham, Nakao, Nishioka, Nabeshima & Mizuno, 2015)
			Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	
			Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Farnham, Emura & Mizuno, 2015)
	Tóquio	Cfa	Numérico	Revestimento de edifícios: • Fachadas com maior albedo • Fachadas verdes • Telhados com maior albedo • Telhados verdes	(Ihara et al., 2007)
			Implementação	Revestimento de edifícios: • Telhados verdes	(Giguère, 2012)

Tabela A.8: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 8).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Malásia	Kuala Lumpur	Af	Teórico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques urbanos</li> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachadas com maior albedo</li> <li>• Telhados com maior albedo</li> <li>• Telhados verdes</li> </ul> Tráfego automóvel: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo</li> </ul> Urbanização: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometria</li> </ul>	(Elsayed, 2012)
	Malaca	Af	Numérico	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rios</li> </ul>	(Manteghi, Lamit, Remaz & Aflaki, 2016)
			Numérico	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rios</li> </ul> Urbanização: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometria</li> <li>• Orientação</li> </ul>	(Manteghi, Shukri & Lamit, 2019)
México	Mexicali	BWh	Numérico	Espaços verdes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetação</li> </ul> Revestimento de edifícios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Telhados com maior albedo</li> <li>• Telhados verdes</li> </ul>	(Villanueva-Solis, 2012)
Países Baixos	Eindhoven	Cfb	Numérico	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Montazeri, Blocken & Hensen, 2015a)
			Numérico	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Montazeri, Blocken & Hensen, 2015b)
	Roterdão	Cfb	Numérico	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrefecimento evaporativo</li> </ul>	(Montazeri, Toparlar, Blocken & Hensen, 2017)
Portugal	Funchal	Csa	Implementação	Massas de água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mares</li> </ul>	(Lopes, Lopes, Matzarakis & Alcoforado, 2011)

Tabela A.9: Medidas de mitigação da ilha de calor urbano por país e cidade (parte 9).

<b>País</b>	<b>Cidade</b>	<b>Clima<sup>1</sup></b>	<b>Tipo</b>	<b>Medidas</b>	<b>Bibliografia</b>
Portugal	Lisboa	Csa	Numérico	Revestimento de edifícios: • Telhados verdes	(Ferreira et al., 2018)
			Teórico	Espaços verdes: • Vegetação Revestimento de edifícios: • Telhados com maior albedo • Telhados verdes Urbanização: • Geometria • Orientação	(Lopes, 2008)
			Teórico	Espaços verdes: • Parques urbanos • Vegetação Revestimento de edifícios: • Fachadas com maior albedo • Telhados com maior albedo Urbanização: • Geometria • Orientação	(Alcoforado et al., 2005)
			Teórico	Espaços verdes: • Parques urbanos • Vegetação	(Saaroni et al., 2018)
			Implementação	Espaços verdes: • Parques urbanos	(Oliveira et al., 2011)
	Porto	Csb	Teórico	Espaços verdes: • Parques urbanos • Vegetação	(Saaroni et al., 2018)
Singapura	Singapura	Af	Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Wong & Chong, 2010)
Suécia	Gotemburgo	Cfb	Teórico	Espaços verdes: • Parques urbanos • Vegetação	(Saaroni et al., 2018)
Tunísia	Tunis	Csa	Numérico	Urbanização: • Geometria	(Achour-Younsi & Kharrat, 2016)
Turquia	Elazığ	Csa	Implementação	Massas de água: • Arrefecimento evaporativo	(Esen & Tuna, 2015)
	Erzurum	Dfb	Numérico	Espaços verdes: • Vegetação	(Yilmaz, Mutlu & Yilmaz, 2018)
	Esmirna	Csa	Teórico	Espaços verdes: • Vegetação Pavimentação: • Maior albedo	(Turhan & Akkurt, 2018)
Vietname	Ho Chi Minh	Aw	Teórico	Espaços verdes: • Vegetação	(Hondula, Davis & Georgescu, 2018)
			Numérico	Espaços verdes: • Vegetação	(Dang, Van, Kusaka, Seposo & Honda, 2017)

<sup>1</sup> Climate-Data.org, 2013-a

## Anexo B – Temperaturas dos modelos de simulação

Os presentes ficheiros podem ser acedidos através de duplo clique (no formato digital), ou através do link: <https://1drv.ms/u/s!ApBSNwry7LcCgbF--5v7Z-Frs5CZw?e=NRh8Ac>.

Tabela B.1: Temperaturas simuladas para a área da Alta de Lisboa.











<b>Construção atual &amp; Clima atual</b>		
 <b>Verão (extremo)</b> 1 – Atualidade (OC).pdf	 <b>Verão (típico)</b> 1 – Atualidade (VT).pdf	 <b>Inverno (típico)</b> 1 – Atualidade (IT).pdf
<b>Medidas de mitigação - Construção atual &amp; Clima atual</b>		
 <b>Verão (extremo)</b> 2 – Medidas (OC).pdf	 <b>Verão (típico)</b> 2 – Medidas (VT).pdf	
<b>Diferença entre medidas de mitigação &amp; Clima futuro</b>		
	 <b>Verão (extremo) [A2]</b> 3 – Medidas (OC-A2).pdf	
<b>Medidas de mitigação escolhida (Clima futuro – Clima atual)</b>		
 <b>Verão (extremo) [A2]</b> 4 - Medida escolhida (OC-A2).pdf	 <b>Verão (típico) [A1B]</b> 4 - Medida escolhida (VT-A1B).pdf	

Tabela B.2: Temperaturas simuladas para a área de Entrecampos.

<b>Construção atual</b>	<b>Construção futura – Construção atual</b>
 <b>Construção atual</b> 1 – Construção atual.pdf	 <b>Construção futura</b> 2 – Construção futura.pdf

## Anexo C – Custos económicos das medidas na área da Alta de Lisboa

Tabela C.1: Custos económicos associados à medida de implementação do lago.

Tipo	Variável	Valor	Bibliografia
Dados	Moeda [\$ -> €] ( $M$ )	0,923247	(XE, 2020)
	Inflação [%] ( $I$ )	0,34	(Inflation.eu, 2019)
Remoção do asfalto	Custo [\$ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{\$1}$ )	3,00	(CostHelper, 2020)
	Custo [€ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{€1} = P_{\$1} * M$ )	2,77	-
	Área total [m <sup>2</sup> ] ( $A_1$ )	368	-
	Custo total [€] ( $P_1 = P_{€1} * A_1$ )	1.019,26	-
Instalação da calçada <sup>1</sup>	Custo [\$ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{\$2}$ )	15,00	(Remodeling Expense, 2020)
	Custo [€ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{€2} = P_{\$2} * M$ )	13,85	-
	Área total [m <sup>2</sup> ] ( $A_2$ )	784	-
	Custo total [€] ( $P_2 = P_{€2} * A_2$ )	10.857,38	-
Instalação do lago <sup>2</sup>	Custo [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€3}$ )	530,00	(Fixr, 2018a)
	Volume total [m <sup>3</sup> ] ( $V_3$ )	2036	-
	Custo total [€] ( $P_3 = P_{€3} * V_3$ )	1.078.948,58	-
Manutenção do lago <sup>3</sup>	Manutenção [anos] ( $T_4$ )	40	(Collepari, 2000)
	Reconstrução (2020) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€41}$ )	300,00	(Fixr, 2018a)
	Reconstrução (2060) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€42} = P_{€41} * (1 + I)^{T_4}$ )	343,63	(Chen, 2020)
	Reconstrução (2100) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€43} = P_{€41} * (1 + I)^{T_4*2}$ )	393,59	(Chen, 2020)
	Custo de reconstrução [€] ( $P_{€4} = (P_{€41} + P_{€42}) * \frac{V_3}{2,25}$ )	1.500.796,64	-
	Salário médio [€ (100 m <sup>-2</sup> mês <sup>-1</sup> )] ( $O_{41}$ )	696,00	(Indeed, 2020; Fixr, 2018b)
	Área total de lago [m <sup>2</sup> ] ( $A_4 = V_3 * 0,5$ )	1.018	-
	Total em salários (2020) [€ ano <sup>-1</sup> ] ( $O_{42} = O_{41} * \frac{A_4}{100} * 12$ )	85.013,01	-
	Salários de 01/01/2021 a 01/01/2100 ( $O_{43} = O_{42} * \left( \frac{(1 + I)^{79} - 1}{I} \right)$ )	7.689.575,11	(Heyford, 2020)
	Custo total [€] ( $P_4 = P_{€4} + O_{42} + O_{43}$ )	9.190.371,75	-
Abastecimento de água	Consumo (2020) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€51}$ )	1,8188	(EPAL, 2020)
	Adicional CM Lisboa (2020) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $L_5$ )	0,1322	(EPAL, 2020)
	Custo (incluindo adicional) (2060) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€52} = ((P_{€51} + L_5) * (1 + I)^{T_4})$ )	2,2347	(Chen, 2020)
	Custo (incluindo adicional) (2060) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€53} = ((P_{€51} + L_5) * (1 + I)^{T_4*2})$ )	2,5597	(Chen, 2020)
	Custo total [€] ( $P_5 = (P_{€51} + L_5 + P_{€52} + P_{€53}) * V_3$ )	13.731,93	-
Custo total ( $P = \sum_{i=1}^5 P_i$ )		10.294.928,91 €	
<b>Considerações aplicadas:</b> <sup>1</sup> Melhor calçada da bibliografia. Não foi considerada manutenção, uma vez que a calçada tem uma durabilidade de 100 anos (Beneke, 2020). <sup>2</sup> O preço de referência foi tido em conta como sendo um lago de 2x1 m de área e 50 cm de profundidade (totalizando 1 m <sup>3</sup> de volume), com escavação, betão projetado e filtro com bomba incluídos. <sup>3</sup> Reconstrução do lago. Foi considerado o preço de referência para 2,5x1,5 m e 60 cm de profundidade (2,25 m <sup>3</sup> de volume), mas, uma vez que este apenas contém a construção básica, foi considerado o mesmo preço apenas para 1 m <sup>3</sup> .			

Tabela C.2: Custos económicos associados à medida de implementação do parque (parte 1).

Tipo	Variável	Valor	Bibliografia
Dados	Moeda [\$ -> €] ( $M$ )	0,923247	(XE, 2020)
	Inflação [%] ( $I$ )	0,34	(Inflation.eu, 2019)
Remoção do asfalto	Custo [\$ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{\$1}$ )	3,00	(CostHelper, 2020)
	Custo [€ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{€1} = P_{\$1} * M$ )	2,77	-
	Área total [m <sup>2</sup> ] ( $A_1$ )	368	-
	Custo total [€] ( $P_1 = P_{€1} * A_1$ )	1.019,26	-
Instalação da calçada <sup>1</sup>	Custo [\$ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{\$2}$ )	15,00	(Remodeling Expense, 2020)
	Custo [€ m <sup>-2</sup> ] ( $P_{€2} = P_{\$2} * M$ )	13,85	-
	Área total [m <sup>2</sup> ] ( $A_2$ )	560	-
	Custo total [€] ( $P_2 = P_{€2} * A_2$ )	7.755,27	-
Instalação do lago <sup>2</sup>	Custo [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€3}$ )	530,00	(Fixr, 2018a)
	Volume total [m <sup>3</sup> ] ( $V_3$ )	960	-
	Custo total [€] ( $P_3 = P_{€3} * V_3$ )	508.800,00	-
Manutenção do lago <sup>3</sup>	Manutenção [anos] ( $T_4$ )	40	(Colleparidi, 2000)
	Reconstrução (2020) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€41}$ )	300,00	(Fixr, 2018a)
	Reconstrução (2060) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€42} = P_{€41} * (1 + I)^{T_4}$ )	343,63	(Chen, 2020)
	Reconstrução (2100) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€43} = P_{€41} * (1 + I)^{T_4*2}$ )	393,59	(Chen, 2020)
	Custo de reconstrução [€] ( $P_{€4} = (P_{€41} + P_{€42}) * \frac{V_3}{2,25}$ )	707.730,97	-
	Salário médio [€ (100 m <sup>-2</sup> mês <sup>-1</sup> )] ( $O_{41}$ )	696,00	(Indeed, 2020; Fixr, 2018b)
	Área total de lago [m <sup>2</sup> ] ( $A_4 = V_3 * 0,5$ )	480	-
	Total em salários (2020) [€ ano <sup>-1</sup> ] ( $O_{42} = O_{41} * \frac{A_4}{100} * 12$ )	40.089,60	-
	Salários de 01/01/2021 a 01/01/2100 ( $O_{43} = O_{42} * \left( \frac{(1 + I)^{79} - 1}{I} \right)$ )	3.626.174,49	(Heyford, 2020)
	Custo total [€] ( $P_4 = P_{€4} + O_{42} + O_{43}$ )	4.333.905,46	-
Abastecimento de água	Consumo (2020) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€51}$ )	1,8188	(EPAL, 2020)
	Adicional CM Lisboa (2020) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $L_5$ )	0,1322	(EPAL, 2020)
	Custo (incluindo adicional) (2060) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€52} = ((P_{€51} + L_5) * (1 + I)^{T_4})$ )	2,2347	(Chen, 2020)
	Custo (incluindo adicional) (2060) [€ m <sup>-3</sup> ] ( $P_{€53} = ((P_{€51} + L_5) * (1 + I)^{T_4*2})$ )	2,5597	(Chen, 2020)
	Custo total [€] ( $P_5 = (P_{€51} + L_5 + P_{€52} + P_{€53}) * V_3$ )	6.475,57	-



Tabela C.3: Custos económicos associados à medida de implementação do parque (parte 2).

Tipo	Variável	Valor	Bibliografia
Plantação das árvores <sup>4</sup>	Custo unitário [€ unidade <sup>-1</sup> ] ( $P_{61}$ )	59,00	(Planfor, 2017)
	Árvores [unidade] ( $N_6$ )	12	-
	Custo total [€] ( $P_6 = P_{61} * N_6$ )	708,00	-
Plantação da relva	Custo [€ (105 m <sup>2</sup> )] ( $P_{71}$ )	21,99	(AKI, 2020)
	Área [m <sup>2</sup> ] ( $A_7$ )	496	-
	Custo total [€] ( $P_7 = P_{71} * A_7$ )	708,00	-
Manutenção da vegetação	Salário médio [€ (100 m <sup>2</sup> mês <sup>-1</sup> )] ( $O_{81}$ )	696,00	(Indeed, 2020; Fixr, 2018b)
	Total em salários (2020) [€ ano <sup>-1</sup> ] $\left(O_{82} = O_{81} * \frac{A_7}{100} * 12\right)$	41.425,92	-
	Salários de 01/01/2021 a 01/01/2100 $\left(O_{83} = O_{82} * \left(\frac{(1 + I)^{79} - 1}{I}\right)\right)$	3.747.046,97	(Heyford, 2020)
	Custo total [€] ( $P_8 = O_{82} + O_{83}$ )	3.788.472,89	-
Custo total ( $P = \sum_{i=1}^8 P_i$ )		8.647.240,33 €	
<b>Considerações aplicadas:</b>			
<sup>1</sup> Melhor calçada da bibliografia. Não foi considerada manutenção, uma vez que a calçada tem uma durabilidade de 100 anos (Beneke, 2020).			
<sup>2</sup> O preço de referência foi tido em conta como sendo um lago de 2x1 m de área e 50 cm de profundidade (totalizando 1 m <sup>3</sup> de volume), com escavação, betão projetado e filtro com bomba incluídos.			
<sup>3</sup> Reconstrução do lago. Foi considerado o preço de referência para 2,5x1,5 m e 60 cm de profundidade (2,25 m <sup>3</sup> de volume), mas, uma vez que este apenas contém a construção básica, foi considerado o mesmo preço apenas para 1 m <sup>3</sup> .			
<sup>4</sup> Foram consideradas plantações do tipo <i>Tilia platyphyllos</i> .			

Tabela C.4: Custos económicos associados à medida de pintura do asfalto da estrada.

Tipo	Variável			Valor	Bibliografia
Dados	Moeda [\$ -> €] ( $M$ )			0,923247	(XE, 2020)
	Distância [ $mi$ -> $km$ ] ( $C$ )			1,609344	(Metric Conversions, 2018)
	Inflação [%] ( $I$ )			0,34	(Inflation.eu, 2019)
Pintura do asfalto <sup>1</sup>	Custo [\$ $mi^{-1}$ ] ( $P_{\$1}$ )			40.000,00	(Capatides, 2018)
	Custo [€ $km^{-1}$ ] ( $P_{€1} = \frac{P_{\$1}*C}{M}$ )			22.947,16	-
	Distância total [km] ( $D_1$ )			0,9683605	-
	Custo total [€] ( $P_1 = P_{€1} * D_1$ )			22.221,13	-
Manutenção da pintura <sup>2</sup>	Manutenção [anos] ( $T_2$ )			3,5	(Asphalt Institute, 2018)
	Custo	2023	$P_{2(ano)} = P_1 * (1 + I)^3$ [€]	22.448,55	(Chen, 2020)
		2027		22.755,41	
		2030		22.988,31	
		2034		23.302,55	
		2037		23.541,04	
		2041		23.862,84	
		2044		24.107,07	
		2048		24.436,60	
		2051		24.686,70	
		2055		25.024,16	
		2058		25.280,27	
		2062		25.625,84	
		2065		25.888,12	
		2069		26.241,99	
		2072		26.510,57	
		2076		26.872,96	
		2079		27.148,00	
		2083		27.519,10	
		2086		27.800,75	
		2090		28.180,77	
		2093		28.469,19	
		2097		28.858,35	
		2100		29.153,71	
		Custo total [€] ( $P_2 = \sum_{i=2023}^{2100} P_{2i}$ )			
	Custo total ( $P = \sum_{i=1}^2 P_i$ )				612 923,98 €
Considerações aplicadas:					
<sup>1</sup> O preço de referência foi considerado como sendo para uma estrada de 2 vias.					
<sup>2</sup> Não foi considerada a manutenção do asfalto uma vez que esta é realizada, independentemente da implementação ou não da medida.					